Université de Poitiers
Faculté de Médecine et Pharmacie

ANNÉE 2022

THESE
POUR LE DIPLÔME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE
(décret du 25 novembre 2016)

présentée et soutenue publiquement
le 13 octobre 2022 à Poitiers
par Louis Poirier

Titre

Étude rétrospective scanographique de la consolidation osseuse à 1 an d'un substitut osseux dérivé de l'os bovin dans les arthrodèses lombaires transforaminales (TLIF)

COMPOSITION DU JURY

Président : Monsieur le Professeur Jean Pierre RICHER

Membres : Docteur Cécile SWENNEN

Docteur Simon TEYSSEDOU

Docteur Nicolas POINTET

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Pierre PRIES

Université de Poitiers
Faculté de Médecine et Pharmacie

ANNÉE 2022

THESE
POUR LE DIPLÔME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE
(décret du 25 novembre 2016)

présentée et soutenue publiquement
le 13 octobre 2022 à Poitiers
par Louis Poirier

Titre

Étude rétrospective scanographique de la consolidation osseuse à 1 an d'un substitut osseux dérivé de l'os bovin dans les arthrodèses lombaires transforaminales (TLIF)

COMPOSITION DU JURY

Président : Monsieur le Professeur Jean Pierre RICHER

Membres : Docteur Cécile SWENNEN

Docteur Simon TEYSSEDOU

Docteur Nicolas POINTET

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Pierre PRIES

LISTE DES ENSEIGNANTS DE MEDECINE

UNIVERSITE DE POITIERS

Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le Doyen le Professeur Marc PACCALIN

Professeurs des Universités-Praticiens Hospitaliers

- • BOULETI Claire, cardiologie
- • BOURMEYSTER Nicolas, biologie cellulaire
- • BRIDOUX Frank, néphrologie
- • BURUCOA Christophe, bactériologie-virologie
- • CHEZE-LE REST Catherine, biophysique et médecine nucléaire
- • CHRISTIAENS Luc, cardiologie
- • CORBI Pierre, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
- • COUDROY Rémi, médecine intensive-réanimation
- • DAHYOT-FIZELIER Claire, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- • DEBAENE Bertrand, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- • DEBIAIS Françoise, rhumatologie
- • DROUOT Xavier, physiologie
- • DUFOUR Xavier, Oto-Rhino-Laryngologie
- • FAURE Jean-Pierre, anatomie
- • FRASCA Denis, anesthésiologie-réanimation
- • FRITEL Xavier, gynécologie-obstétrique
- • GERVAIS Elisabeth, rhumatologie
- • GICQUEL Ludovic, pédopsychiatrie
- • GILBERT Brigitte, génétique
- • GOMBERT Jean-Marc, immunologie
- • GOUJON Jean-Michel, anatomie et cytologie pathologiques
- • GUILLEVIN Rémy, radiologie et imagerie médicale
- • HAUET Thierry, biochimie et biologie moléculaire
- • INGRAND Pierre, biostatistiques, informatique médicale
- • ISAMBERT Nicolas, cancérologie
- • JAAFARI Nematollah, psychiatrie d'adultes
- • JABER Mohamed, cytologie et histologie
- • JAYLE Christophe, chirurgie thoracique t cardio-vasculaire
- • KARAYAN-TAPON Lucie, cancérologie
- • KEMOUN Gilles, médecine physique et de réadaptation **(en disponibilité)**
- • KRAIMPS Jean-Louis, chirurgie viscérale et digestive **(retraite au 01/01/2022)**
- • LECLERE Franck, chirurgie plastique, reconstructrice
- • LECRON Jean-Claude, biochimie et biologie moléculaire
- • LELEU Xavier, hématologie
- • LEVEQUE Nicolas, bactériologie-virologie
- • LEVEZIEL Nicolas, ophtalmologie
- • MACCHI Laurent, hématologie
- • MCHEIK Jiad, chirurgie infantile
- • MEURICE Jean-Claude, pneumologie
- • MIGEOT Virginie, santé publique
- • MILLOT Frédéric, pédiatrie, oncologie pédiatrique
- • MIMOZ Olivier, médecine d'urgence
- • NEAU Jean-Philippe, neurologie
- • ORIOT Denis, pédiatrie
- • PACCALIN Marc, gériatrie
- • PERAULT-POCHAT Marie-Christine, pharmacologie clinique
- • PERDRISOT Rémy, biophysique et médecine nucléaire
- • PRIES Pierre, chirurgie orthopédique et traumatologique
- • RAMMAERT-PALTRIE Blandine, maladies infectieuses
- • RICHER Jean-Pierre, anatomie
- • RIGOARD Philippe, neurochirurgie
- • ROBLOT France, maladies infectieuses, maladies tropicales
- • ROBLOT Pascal, médecine interne
- • SAULNIER Pierre-Jean, thérapeutique
- • SCHNEIDER Fabrice, chirurgie vasculaire
- • SILVAIN Christine, hépato-gastro- entérologie
- • TASU Jean-Pierre, radiologie et imagerie médicale
- • THIERRY Antoine, néphrologie
- • THILLE Arnaud, médecine intensive-réanimation
- • TOUGERON David, gastro-entérologie
- • WAGER Michel, neurochirurgie
- • XAVIER Jean, pédopsychiatrie

Maîtres de Conférences des Universités-Praticiens Hospitaliers

- • ALBOUY Marion, santé publique
- • ALLAIN Géraldine, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
- • BEN-BRIK Eric, médecine du travail **(en détachement)**
- • BILAN Frédéric, génétique
- • BOISSON Matthieu, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- • CAYSSIALS Emilie, hématologie
- • CREMNITER Julie, bactériologie-virologie
- • DIAZ Véronique, physiologie
- • FROUIN Eric, anatomie et cytologie pathologiques
- • GACHON Bertrand, gynécologie-obstétrique
- • GARCIA Magali, bactériologie-virologie
- • GUENEZAN Jérémy, médecine d'urgence
- • JAVAUGUE Vincent, néphrologie **(en mission 1an a/c du 12/07/2021)**
- • JUTANT Etienne-Marie, pneumologie
- • KERFORNE Thomas, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- • LAFAY-CHEBASSIER Claire, pharmacologie clinique
- • LIUU Evelyne, gériatrie
- • MARTIN Mickaël, médecine interne
- • PALAZZO Paola, neurologie (**en dispo 3 ans à/c du 01/07/2020**)
- • PERRAUD Estelle, parasitologie et mycologie

- • PICHON Maxime, bactériologie-virologie
- • SAPANET Michel, médecine légale
- • THUILLIER Raphaël, biochimie et biologie moléculaire

Professeur des universités
- • PELLERIN Luc, biochimie et biologie moléculaire

Professeur des universités de médecine générale
- • BINDER Philippe

Professeur associé des universités des disciplines médicales
- • FRAT Jean-Pierre, médecine intensive-réanimation

Maître de Conférences associé des universités des disciplines médicales
- • HARIKA-GERMANEAU Ghina, psychiatrie d'adultes

Professeurs associés de médecine générale
- • ARCHAMBAULT Pierrick
- • BIRAULT François
- • FRECHE Bernard
- • MIGNOT Stéphanie
- • PARTHENAY Pascal
- • VALETTE Thierry

Maîtres de Conférences associés de médecine générale
- • AUDIER Pascal
- • BRABANT Yann
- • JEDAT Vincent

Enseignant d'Anglais
- • DEBAIL Didier, professeur certifié

Professeurs émérites
- • GIL Roger, neurologie (08/2023)
- • GUILHOT-GAUDEFFROY François, hématologie et transfusion (08/2023)
- • HERPIN Daniel, cardiologie (08/2023)
- • MARECHAUD Richard, médecine interne (24/11/2023)
- • RICCO Jean-Baptiste, chirurgie vasculaire (08/2022)
- • ROBERT René, médecine intensive-réanimation (30/11/2024)
- • SENON Jean-Louis, psychiatrie d'adultes (08/2023)
- • TOUCHARD Guy, néphrologie (08/2023)

Professeurs et Maîtres de Conférences honoraires
- • AGIUS Gérard, bactériologie-virologie
- • ALCALAY Michel, rhumatologie
- • ALLAL Joseph, thérapeutique (ex-émérite)
- • ARIES Jacques, anesthésiologie-réanimation
- • BABIN Michèle, anatomie et cytologie pathologiques
- • BABIN Philippe, anatomie et cytologie pathologiques
- • BARBIER Jacques, chirurgie générale (ex-émérite)
- • BARRIERE Michel, biochimie et biologie moléculaire
- • BECQ-GIRAUDON Bertrand, maladies infectieuses, maladies tropicales (ex-émérite)
- • BEGON François, biophysique, médecine nucléaire
- • BOINOTCatherine, hématologie – transfusion
- • BONTOUX Daniel, rhumatologie (ex-émérite)
- • BURIN Pierre, histologie
- • CARRETIER Michel, chirurgie viscérale et digestive (ex-émérite)
- • CASTEL Olivier, bactériologie-virologie ; hygiène
- • CASTETS Monique, bactériologie -virologie – hygiène
- • CAVELLIER Jean-François, biophysique et médecine nucléaire
- • CHANSIGAUD Jean-Pierre, biologie du développement et de la reproduction
- • CLARAC Jean-Pierre, chirurgie orthopédique
- • DABAN Alain, cancérologie radiothérapie (ex-émérite)
- • DAGREGORIO Guy, chirurgie plastique et reconstructrice
- • DESMAREST Marie-Cécile, hématologie
- • DEMANGE Jean, cardiologie et maladies vasculaires
- • DORE Bertrand, urologie (ex-émérite)
- • EUGENE Michel, physiologie (ex-émérite)
- • FAUCHERE Jean-Louis, bactériologie-virologie (ex-émérite)
- • FONTANEL Jean-Pierre, Oto-Rhino Laryngologie (ex-émérite)
- • GOMES DA CUNHA José, médecine générale (ex-émérite)
- • GRIGNON Bernadette, bactériologie
- • GUILLARD Olivier, biochimie et biologie moléculaire
- • GUILLET Gérard, dermatologie
- • JACQUEMIN Jean-Louis, parasitologie et mycologie médicale
- • KAMINA Pierre, anatomie (ex-émérite)
- • KITZIS Alain, biologie cellulaire (ex-émérite)
- • KLOSSEK Jean-Michel, Oto-Rhino-Laryngologie
- • LAPIERRE Françoise, neurochirurgie (ex-émérite)
- • LARSEN Christian-Jacques, biochimie et biologie moléculaire
- • LEVARD Guillaume, chirurgie infantile
- • LEVILLAIN Pierre, anatomie et cytologie pathologiques
- • MAIN de BOISSIERE Alain, pédiatrie
- • MARCELLI Daniel, pédopsychiatrie (ex-émérite)
- • MARILLAUD Albert, physiologie
- • MAUCO Gérard, biochimie et biologie moléculaire (ex-émérite)
- • MENU Paul, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire (ex-émérite)
- • MORICHAU-BEAUCHANT Michel, hépato-gastro-entérologie
- • MORIN Michel, radiologie, imagerie médicale
- • PAQUEREAU Joël, physiologie
- • POINTREAU Philippe, biochimie
- • POURRAT Olivier, médecine interne (ex-émérite)
- • REISS Daniel, biochimie
- • RIDEAU Yves, anatomie
- • RODIER Marie-Hélène, parasitologie et mycologie
- • SULTAN Yvette, hématologie et transfusion
- • TALLINEAU Claude, biochimie et biologie moléculaire
- • TANZER Joseph, hématologie et transfusion (ex-émérite)
- • TOURANI Jean-Marc, cancérologie
- • VANDERMARCQ Guy, radiologie et imagerie médicale

•

Remerciements :

Au Professeur Pierre Pries, pour m'avoir pris sous votre aile et avoir eu foi en moi et ce depuis le commencement de mon internat. Je vous serais éternellement reconnaissant pour votre bienveillance à mon égard et tout le savoir que vous m'avez transmis. C'est une fierté pour moi de vous avoir comme directeur de thèse pour ce travail.

Au Professeur Jean-Pierre Richer, merci pour m'avoir appris l'anatomie, et ce depuis la première année d'études. Votre enseignement m'a accompagné durant toute la durée de celles-ci, et c'est un honneur de vous compter en tant que président de mon jury de thèse.

Au Professeur Louis Etienne Gayet†, je n'oublierais jamais toute les choses que j'ai pu apprendre à vos côtés et vous resterez à jamais gravé dans ma mémoire.

Au Professeur Norbert Passuti, pour m'avoir fait confiance et accompagné dans ce projet, en pleine période de pandémie.

Au Professeur Raphael Vialle, pour m'avoir accepté dans votre service et pour votre bienveillance envers votre équipe.

Au Professeur Franck Noël Fitoussi, pour tous vos enseignements au cours de mon semestre à Paris.

Au Professeur Philippe Rigoard, pour tout ce que vous m'avez appris, en neurochirurgie ou en chirurgie du handicap et sur la rigueur opératoire.

Au Docteur Cécile Swennen, merci pour tout ce que tu m'as appris, tous ces bons moments et ton aide dans cette thèse. Tu m'as appris ce que c'est d'être chirurgien.

Au Docteur Simon Teyssedou, merci pour tout ce que tu m'as transmis, ton aide dans ce travail et tous ces fous rires au bloc. C'est toujours un plaisir d'être à tes côtés.

Au Docteur Nicolas Pointet, un co-interne, un chef mais surtout un ami ! je suis heureux de pouvoir compter sur toi, dans mon jury comme ailleurs.

Au Docteur Pierre Bouget, pour tous ces bons moments partagés, pour tout ce que tu m'as appris et ce depuis que je suis externe. Pour la confiance que tu m'as accordée et à ce record de PIH !

Au Docteur Hamid Hamcha, pour tous les conseils que vous m'avez donné et la confiance que vous m'avez accordée durant mon internat.

Au Docteur Paul Brossard, pour toutes ces gardes passées ensembles et la patience dont tu as fait preuve à mes débuts !

Au Docteur Tanguy Vendeuvre, pour toutes tes connaissances et ton aide précieuse dans la recherche.

Au Docteur Mathieu Saget, pour ces bons moments passés au bloc et ses retrouvailles sous un soleil de plomb et une statue de métal.

Au Docteur Vivien Fontaine, pour m'avoir donné goût à l'orthopédie durant mon externat et enseigner les bases durant mon début d'internat.

Au Docteur Alain Muller, pour la confiance que vous avez eu en moi et le compagnonnage dont j'ai pût bénéficier à vos côtés.

Au Docteur Franck Bahuet, votre dévouement envers les patients restera un exemple pour moi dans ma carrière future.

Au Docteur Paul Lebris, pour tout ce que vous m'avez appris, et pour m'avoir trouvé un logement sur Paris !

Au Docteur Charles Mahieu, pour toutes les astuces et conseils que vous m'avez transmis et pour m'accueillir une deuxième fois au sein de votre service.

Au Docteur Christopher Koneazny, pour ta bonne humeur contagieuse et tous ces bons moments passés à travailler avec toi !

Au Docteur Alexandre Losson, pour toutes ces recettes, que ce soit pour les grillades et le ciment à l'amphotéricine !

Au Docteur Adrien Delaveau, pour tous tes conseils sur la chirurgie du membre supérieur qui me seront précieux lors de mon post internat.

Au Docteur Benjamin Augereau, co-interne à mes premières heures, tu es désormais mon chef mais surtout un ami. Ma confiance en toi est forgée dans un alliage de Chrome, de Cobalt et de Zinc.

Au Docteur Florent Saint-Genez, interne du mois ! Ce fût un plaisir de travailler avec toi, de l'embauche à la débauche ! Je vous souhaites à toi et ta famille un très bon départ dans votre nouvelle installation.

Au Docteur Arthur Floquet, pour m'avoir accompagné lors de mon premier semestre, enchaîné, et pour ton dévouement envers ce métier et ta famille.

Au Docteur Alexis Gerfroit, à cette fameuse moustache et à toutes ces soirées passés à compter les dés de un à six.

Au Docteur Thibault Marty, pour nous avoir encadrés et guidés tout au long de notre internat, et ça n'a pas dû être toujours facile de guider un troupeau de veaux comme nous !

Au Docteur Juliette Fradet, pour tous ces blocs passés ensembles et pour ton rires si contagieux !

Au Docteur Victor Ferrière, pour tous blocs et ces bons moments à travailler ensembles, que ce soit en premier ou en septième semestre.

Au Docteur Cholé Labarre, pour tous ce que tu m'a appris et pour m'avoir calmé sur certaines indications douteuses de trochléoplastie…

A Romain Delmon, le crabe royal ! Ta bonne humeur débordante et ton humour font de toi un collègue et ami en or, qui pince et qui croque !

A Thomas Druart, normalement d'ici que je passe ma thèse tu devrais être Docteur, à moins que ton jury ne se rende compte de la supercherie… bref tellement de bons moments passés à bosser avec toi ! Life !

A Thomas Boissinot, meilleur sur les PTG qu'à Mario Kart ; à ce semestre confinés à Angoulême ! Et c'est moi le vrai Parisien maintenant !

A André « Dédé » Boche, la confiance que j'ai en toi est si forte qu'il en faudrait beaucoup pour qu'elle ne s'use.

A Benoit Latelise, notre amitié et née en cette journée de pré-rentrée donnée aux nouveaux internés de chirurgie, et depuis tu ne m'a pas abandonné depuis de nombreuses années. Cette histoire pourrait s'écrire en sept tomes, pour qu'on nous la narre, in fine.

A Clément Cazemajou, même si nous n'avons jamais travaillé ensembles, c'est toujours un plaisir de te voir quand nos chemins se croisent.

A Wassim Ben Abdenebi, le Nouméens ! Pour ta bonne humeur et ta gentillesse, plus que pour tes compétences en matière de salade composée.

A Mélanie Métais, merci d'être à mes côtés, de m'avoir accompagné, soutenu et surtout supporté tous les jours et ce depuis mon externat. Tu m'éclaires tel un rayon de soleil dans la grisaille.

A mes parents Jérôme et Sylvie, pour m'avoir toujours soutenu et épaulé durant toutes mes études et même depuis ma naissance, et pour l'éducation que vous m'avez donné qui me permet d'être ici ce jour et qui me permettra, j'en suis sûr, de m'occuper de mes patients avec toute l'attention qu'ils méritent.

A ma sœur, Marie, dont je suis les pas depuis mon enfances, et qui m'a accompagné tout au long de ce parcours.

A mes grands-parents†, je penses souvent à vous, vous serez toujours des modèles pour moi, et je suis heureux de vous avoir rendus si fiers de moi.

A Samuel Andrault, d'avoir été là, pour être un ami fidèle, pour toutes ces aventures partagés durant l'externat et après. Que ce soit à Huedic, Clisson ou ailleurs, avec ou sans tente !

A Grégoire Devoos, pour ton amitié si précieuse, et tous ces moments passés à chercher notre avenir dans les fonds de bouteilles ou dans les haies de thuya.

A Maxime Barbarin, pour être ce que tu es, pour ce voyage en Ecosse, pour ces carbonaras ! Tu te débrouilles comme un chef !

A Louis Marin Pion, compagnon d'intégration, compagnon de confinement, mais surtout un ami de longue date, et maintenant un père de famille ! Plein de bonheur à vous trois.

A Ralph Goron, un pote en plastique, mais certainement pas un pote en carton ! Notre amitié est aussi coriace que ton armoire.

A Loic Alain, pour être quelqu'un de bon, franc et honnête, autant de qualité qui font de toi un aussi bon ami que tu seras un bon docteur dans un futur proche !

A Rita Ghermani, pour tous ces bons moments à rire à tes côtés, et pour t'occuper de Greg, parce qu'il en a besoin !

A Antoine Texier et Sarah Baron, la petit prince de la rachi et la reine de la traumato !

A Alex et Nico, pour cette première année, pourtant si difficile, mais tellement agréable lorsqu'on la passe à vos côtés !

A Lucien, Lisa, Aude, PE, Léa, Clément, Constance, Florian, Guillaume, Claire, Maud, Théo pour tous ces bons moments sur ce campus Pictavien ! Je n'aurais pas pu imaginer meilleure compagnie durant l'externat.

A Robert, Marc, Auguste, Bruno, Charly, Thibault, Damien, Henry, la bande de malfaiteurs ! A toutes ces soirées accoudés au comptoir.

A Corentyn, Vincent et Louis, pour votre compagnie, que ce soit au fond de la BU ou au fond des cuves !

A Toute l'équipe Trousseaux : Adrien, Lori, Elie, Gauthier, Clélia, Toula, Héléna, Lou, Marius, Vincent, Valérian, Christina, Lucas : merci pour ce semestre, votre gentillesse à tous et le Bardouin !

A Toutes l'équipes du bloc opératoire du CHU de Poitiers : Adeline, Jérôme, Isa, Pascal, Christelle, Camille, Emilie, Philippe, Stéphane, Julien, Éric, Jean Luc, Céline, Elodie, Mickaël, Dorothée, Christophe : pour toutes ces journées passés à vos côtés, parfois longue en horaire, mais passant toujours si vite car entouré des personnes aussi gentilles que compétentes que vous êtes.

Aux équipes du H4D et H4B Lola, Lucille, Emilie, Fanny, Ilona, Romane, Charlotte, Manuella, Bernie, pour vous occuper si bien des patients et supporter mes blagues. Il vous en faut du courage mais vous êtes toutes au top !

A Marina Baraton, la meilleure cadre au monde, ne change surtout pas ! Même si ce n'est pas toujours facile, tu t'arranges toujours pour que ça un plaisir de travailler avec toi !

A l'équipe de la consultation, Virginie, Fabrice, Corinne, Pierre-Lo, Julie, pour m'avoir accompagné à mes débuts, pour votre bonne humeur et ce bon café en salle de pause !

A tout le monde, à tous mes amis, à tous ceux que j'ai oublié et à tous ceux qui ont croisé mon chemin et qui m'ont permis d'avancer.

Merci !

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION : 12
   1. RAPPELS HISTORIQUES : 12
      1. Histoire de la discopathie lombaire : 12
      2. Histoire de l'arthrodèse lombaire 12
   2. LE TISSUS OSSEUX : 15
      1. Histologie : 15
      2. La greffe osseuse : 16
      3. La consolidation osseuse : 18
      4. Les substituts osseux : 19
   3. LA PATHOLOGIE LOMBAIRE : 23
      1. Rappels anatomiques : 23
      2. Physiopathologie : 24
      3. Prise en charge médicale : 26
      4. L'arthrodèse lombaire : 27

Étude rétrospective scanographique de la consolidation osseuse à 1 an d'un substitut osseux dérivé de l'os bovin dans les arthrodèses lombaires transforaminales (TLIF) 30

   1. Problématique : 30
   2. Matériel et méthode : 31
   3. Résultats : 31
      1. Données épidémiologiques : 31
      1. Consolidation : 32
      2. Complications : 32
      3. Résultats fonctionnels : 32
      4. Étude des facteurs de risque : 33
   4. Discussion : 33
      1. Consolidation et analyse scanographique : 33
      2. Comparaison avec les autres techniques de greffe et de substitution osseuse : 35
      3. Complications : 37
      4. Résultats fonctionnels : 37
      5. Etudes des facteurs de risques de non consolidation : 38

Conclusion : 39

Résumé : 41

Mots clés : 41

1. INTRODUCTION :

1. RAPPELS HISTORIQUES :

1. HISTOIRE DE LA DISCOPATHIE LOMBAIRE :

On doit la première description de la sciatique à Caelius Aurelianus, médecin romain du 5eme siècle vivant près de l'actuelle Tunisie, où il décrit notamment les facteurs déclenchants « une secousse soudaine ou un faux-mouvement pendant l'exercice, en creusant un trou, en soulevant un objet lourd bas-situé, couché sur le sol, après un choc soudain, une chute ou des rapports sexuels » dans la traduction de 1722 De Morbis Acutis et Chronicis[1]. Décrite aussi par Domenico Cotugno, médecin italien, en 1770 dans son œuvre *De ischiade nervosa commentarius*[2] ou il l'attribue à une humeur acre venant engainer le nerf et décrit le trajet de la sciatique, mais aussi son traitement (lavement aux opiacés, vésicatoires au creux poplité, à tête de la fibula)

On retrouve une description semblable à un signe de Lasègue beaucoup plus ancienne sur le Papyrus d'Edwin Smith datant de -1500 avant notre ère, rédigé durant la Seconde Période Intermédiaire d'Égypte : « Si tu procèdes à l'examen d'un homme atteint d'une fêlure d'une vertèbre du dos, tu lui diras : « Étends tes jambes puis replie-les ! ». Il les étendra mais les repliera de manière subite à cause de la douleur qu'il causera dans la vertèbre du dos qui est atteinte. Tu diras à ce sujet : " (...) un mal que je peux traiter. »[3]. Les préceptes de ce papyrus seraient attribués à l'un des premiers médecins de l'histoire : Imhotep, vizir du roi Djeser, fondateur de l'Ancien Empire égyptien (-2700). Ce texte est stupéfiant par son pragmatisme et sa faible allusion au divin.
Dejser et Imhotep seront à l'origine de l'édification de la première pyramide d'Égypte, sur le site de Saqqarah ; cette anecdote a l'intérêt de souligner à quel point la pathologie lombaire est inhérente à l'homme de par sa bipédie, et l'accompagne depuis le berceau de l'humanité.

2. HISTOIRE DE L'ARTHRODESE LOMBAIRE

Au cours du XIX siècle deux concepts de correction de la déformation rachidienne évoluent en parallèle : la fusion et la fixation.

La première, la fusion, consiste à obtenir une continuité osseuse entre plusieurs niveaux vertébraux et ainsi stopper la déformation, sans la réduire. Elle fut popularisée par Hibbs[4] et Albee[5], chirurgiens orthopédistes New Yorkais. Russel Hibbs (1869-1933) utilisait l'os issu de la décortication des lames et des épineuses, alors que Frederick Albee (1876-1945) préférait une technique associant un avivement des facettes articulaires et implantation de greffons osseux autologue tibiaux dans les espaces inter épineux.

La fixation, quant à elle, consiste à stabiliser plusieurs niveaux vertébraux entre eux à l'aide d'un moyen d'ostéosynthèse. Les premières fixations postérieures furent réalisées à la fin du XIX siècle par Wilkins et Hadra et consistaient en des laçages inter épineux sur des rachis traumatiques. Le concept de fixation fut révolutionné en 1958 par les fameuses tiges de Harrington[6], du nom de leur

Figure 1 - Tiges de Harrington

[1] Caelius Aurelianus, Amman, et Almeloveen, *Caelii Aureliani Siccensis Medici Vetusti, Secta Methodici, De Morbis Acutis et Chronicis libri VIII Soli ex omnium Methodicorum Scriptis superstites*.

[2] Cotugno, *De ischiade nervosa commentarius*.

[3] « Thierry Bardinet, Les Papyrus médicaux de l'Egypte pharaonique. Trad. intégrale et comment. (Paris ».

[4] HIBBS, « TREATMENT OF VERTEBRAL TUBERCULOSIS BY FUSION OPERATION: REPORT OF TWO HUNDRED AND TEN CASES ».

[5] Albee, « Transplantation of a Portion of the Tibia into the Spine for Pott's Disease ».

[6] Harrington, « Treatment of Scoliosis ».

créateur, Paul Harrington (1911-1980) chirurgien américain, constituées de 2 tiges droites, rigides, comprenant à leurs extrémités des crochets permettant une réduction de la déformation par distraction – *figure 1.*

En plus de nécessiter une immobilisation par corset pouvant aller jusqu'à 6 mois, ces deux techniques de correction étaient, à elles seules peu efficaces, avec près de 60 à 70% de mauvais résultats, du fait de l'insuffisance de rigidité permettant l'arthrodèse pour l'une, et la fatigabilité du matériel pour l'autre.

C'est Harrington lui-même qui, parmi les premiers, a combiné ces deux méthodes en associant une greffe osseuse à des montages par tiges pour permettre l'obtention de meilleurs résultats. En 1984 Yves Cotrel et Jean Dubousset[7] révolutionnent la fixation avec leur système éponyme « CD » associant deux tiges rugueuses cintrées selon le profil du segment rachidien concerné et divers types de crochets de forme adaptée à la morphologie des vertèbres instrumentées. Ils introduisent aussi les principes de correction dans les trois plans de l'espace notamment par rotation des tiges , le cintrage des tiges limitant les « flat-back syndrom » propre au système de Harrington.

20 ans avant cela, en 1963, Roy Camille, chirurgien à Raymond-Poincaré, réalise les premières visées pédiculaires chez une patiente de 17 ans, paraplégique sur fracture-luxation L4/L5. L'absence d'épineuse du fait d'une laminectomie réalisée préalablement empêchait l'utilisation de plaque de Wilson (plaque d'ostéosynthèse inter épineuse utilisée à l'époque). Roy-Camille, anatomiste, décida alors d'utiliser des plaques de membre inférieur pour fixer le rachis, en essayant de viser le pédicule des vertèbres pour une meilleure tenue – *figure 2*. La visée pédiculaire était née[8] ; celle-ci-remplacera les vissages trans-facettaires, dont les résultats n'étaient pas encourageants[9].

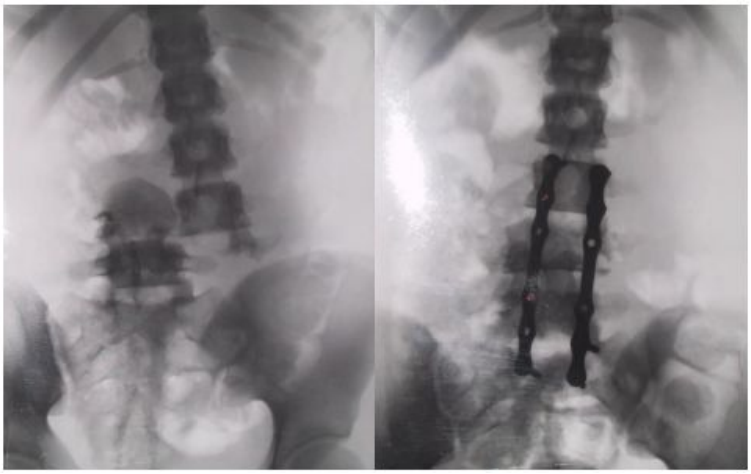

Figure 2 - Ostéosynthèse par plaques et vis pédiculaires de Roy-Camille, images pré et post opératoires.

[7] Y Cotrel, J Dubousset, « A new technic for segmental spinal osteosynthesis using the posterior approach ».

[8] Roy-Camille, Roy-Camille, et Demeulenaere, « [Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses] ».

[9] King, « Internal Fixation for Lumbosacral Fusion »; Boucher, « A Method of Spinal Fusion ».

Pour ce qui est du rachis lombaire dégénératif, les premiers cas de décompressions laminectomies remonteraient à l'antiquité, on les appelait alors « trépanations rachidiennes ». C'est à Harrington que l'on doit la première combinaison d'instrumentation par vis pédiculaires et tiges en 1969, dans le cadre de réduction de spondylolisthésis[10]. A noter aussi l'existence d'un fixateur externe à visée pédiculaire développé par Magerl en 1977[11] – *figure 3*. Et c'est en 1985 que Dick raccourcit ce montage pour créer un « fixateur interne »[12] très proche des montages utilisés à l'heure actuelle et qui ne cessera alors d'être amélioré. [13]

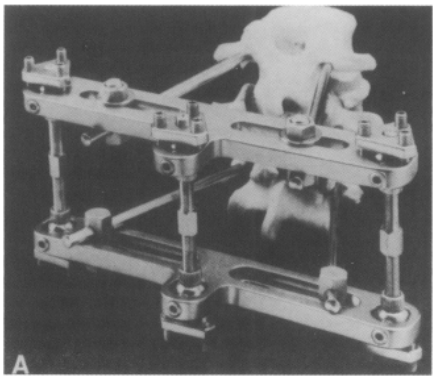

Figure 3 – Fixateur externe à visées pédiculaires de Magerl.

[10] Harrington et Tullos, « Reduction of Severe Spondylolisthesis in Children ».

[11] Magerl, « External Spinal Skeletal Fixation ».

[12] Dick et al., « A New Device for Internal Fixation of Thoracolumbar and Lumbar Spine Fractures ».

[13] Krag et al., « An Internal Fixator for Posterior Application to Short Segments of the Thoracic, Lumbar, or Lumbosacral Spine. Design and Testing »; Guyer, Wiltse, et Peek, « The Wiltse Pedicle Screw Fixation System ».

2. LE TISSUS OSSEUX :

1. HISTOLOGIE :

Structure :[14]
Les tissus osseux s'organisent en 4 compartiments.

Le périoste, structure conjonctive recouvrant l'intégralité de l'os, à l'exception des zones articulaires cartilagineuses. Il est constitué d'une couche externe fibreuse et d'une couche interne ostéogénique. Richement vascularisé et innervé, il joue un rôle nourricier essentiel et participe chez l'enfant aux propriétés biomécaniques de l'os et à sa croissance circonférentielle.

L'os compact ou os cortical, il compose 80% du poids de l'os. Il forme la partie externe de l'os : la corticale. Il est lui-même composé d'ostéon. Unité structurale osseuse composée de cylindres osseux concentriques de 200µ centrés sur un canal nourricier longitudinal (*le canal de Havers)* contenant veine et artère. Ces canaux sont eux-mêmes reliés entre eux par des canaux transversaux (*les canaux de Volkman*). Des lamelles circonférentielles périphériques bordent l'os cortical en externe et en interne au niveau de la cavité osseuse. Cette cavité osseuse contient la moelle osseuse graisseuse.

L'os trabéculaire, entouré d'os compact, au niveau des épiphyses osseuses, des os courts, plats et des vertèbres. Il est constitué de structures osseuses lamellaires de 0,1 à 0,5mm, organisées sous forme d'arches d'organisation tridimensionnelle variée, définie selon les contraintes mécaniques de l'os. Ces arches forment des cavités contenant la moelle osseuse hématopoïétique.

L'endoste, structure conjonctive recouvrant la partie interne de l'os et participant à sa vascularisation.

Histologie :[15]
Trame protéique : constitué de fibre de collagène de type 1, elle définit l'organisation lamellaire de l'os compact : les fibres ayant une organisation parallèle au sein d'une même lamelle mais différente d'une lamelle à l'autre. Cette structure collagénique constitue 90% de la phase organique de l'os. Le reste étant constitué de la substance fondamentale interfibrillaire constituée principalement d'ostéocalcine et de protéoglycanes, mais aussi des facteurs de croissance intervenant dans le remodelage et la consolidation de l'os.

La phase minérale : inorganique, elle représente 70% du poids sec du tissu osseux. Elle est principalement composée de phosphate de calcium cristallisé : l'hydroxyapatite (HA). Elle contient 99% du calcium du corps et 85% du phosphate.

Les cellules osseuses :[16]
Les ostéoblastes : cellules mononuclées d'origine mésenchymateuse responsables de la formation de la trame protéique de l'os de part un appareil cytoplasmique très développé. Elles recouvrent les surfaces osseuses en cours de formation.

Les ostéoclastes : responsables de la résorption osseuse. Il s'agit de cellules multinucléées apparentées aux macrophages. Elles exercent une activité ostéolytique par la sécrétion de protons et d'enzymes lysosomales protéolytiques. Elles agissent au sein de lacune de résorption appelée lacunes de Howship.

Les ostéocytes : cellules dérivées des ostéoblastes, emmurées dans le tissu osseux et présentant d'importants prolongements cytoplasmiques pour permettre la communication inter-cellulaire au sein du tissu osseux. Ils représentent 90% des cellules osseuses.

Les cellules bordantes : elles aussi dérivent des ostéoblastes, elles sont aplaties et présentent un cytoplasme pauvre. Elles recouvrent la surface des zones osseuses quiescentes, entre les phases de remodelage.

[14] Pierre Kamina, *Anatomie clinique - Tome I - Anatomie générale, membres*.

[15] Chavassieux; Meunier;, « Histologie et cytologie de l'os normal ».

[16] Levasseur, « Physiologie du tissu osseux ».

Le remodelage osseux :

Suite à un stimuli mécanique ou biologique et sous l'influence de cytokine, les cellules bordantes vont libérer la surface osseuse et via des stimuli hormonaux (œstrogènes, parathormone) et le système RANL/RANKL/OPG la différenciation ostéoclastique va être stimulée permettant une résorption osseuse par les ostéoclastes. La libération des facteurs de croissance du tissus osseux va ensuite favoriser la différenciation ostéoblastique et la formation osseuse [17]. Après formation de la trame protéique, celle-ci va se minéraliser par apposition de cristaux d'HA. Une fois la phase de minéralisation achevée, la surface osseuse va de nouveau être recouverte de cellules bordantes, jusqu'à la prochaine phase de remodelage.

2. LA GREFFE OSSEUSE :

Le concept de fusion décrit précédemment impose l'apport d'une greffe osseuse, dont nous allons étudier les différents types ainsi que leur histoire :

L'autogreffe :

L'autogreffe est la transplantation d'os provenant d'un même patient. Sa première réalisation est attribuée à Daniel Karl Theodor Merrem, chirurgien Prussien lors des guerres Napoléoniennes, en 1810[18]. Dix ans après, Von Walther réalisait la première réimplantation osseuse, sur un morceau de voûte crânienne, bien que les suites opératoires furent marquées par une infection, la fusion osseuse fut obtenue[19]. Les greffes osseuses libres furent ensuite étudiées et utilisées en pratique, notamment par Léopold Ollier dans son « *Traité expérimental et Clinique de la régénération des os* »[20].

L'autogreffe d'os de crête iliaque représente le Gold standard[21] en matière de greffe osseuse, cependant elle n'est pas dépourvue d'effets indésirables, que sont principalement le saignement per opératoire, la douleur et l'infection sur le site donneur[22]. Un autre inconvénient est la quantité d'os prélevé limitée. Selon une méta-analyse, les douleurs chroniques au niveau du site de prélèvement atteindraient les 8%[23].

L'os de décortication, provenant du tissu osseux prélevé lors de la lamino-arthrectomie réalisée lors de l'arthrodèse lombaire par voie postérieure, présente des comorbidités moindres puisque son prélèvement est inhérent au geste chirurgical, cependant la qualité de la greffe est difficile à contrôler : présence de tissus mous péri-osseux, cartilage articulaire, capsule… Et ses résultats moins bons que l'os de crête[24].
C'est pour cela que le corps médical a commencé à chercher des alternatives à la greffe autologue.

[17] Mundy, « Cytokines and Bone Remodeling ».

[18] Burchardt et Enneking, « Transplantation of Bone ».

[19] Hjørting-Hansen, « Bone Grafting to the Jaws with Special Reference to Reconstructive Preprosthetic Surgery. A Historical Review ».

[20] Ollier, *Traité expérimental et clinique de la régénération des os et de la production artificielle du tissu osseux*.

[21] Feng et al., « Efficacy and Safety of Bone Substitutes in Lumbar Spinal Fusion ».

[22] Tohmeh et al., « Allograft Cellular Bone Matrix in Extreme Lateral Interbody Fusion »; Banwart, Asher, et Hassanein, « Iliac Crest Bone Graft Harvest Donor Site Morbidity. A Statistical Evaluation ».

[23] Offner et al., « Complications d'une autogreffe osseuse, et comparaison avec une allogreffe osseuse ou l'utilisation de BMPs (Bone Morphogenetic Proteins) ».

[24] Feng et al., « Efficacy and Safety of Bone Substitutes in Lumbar Spinal Fusion ».

L'allogreffe :

Il s'agit d'une greffe osseuse provenant d'un donneur humain autre que le patient, décédé ou non (prélèvement de tête fémorale lors des prothèses de hanche par exemple) dont il existe deux sous catégories :

L'allogreffe cryoconservée, souvent prélevée sur donneur cadavérique lors des prélèvements multi-organe, et conservée à -80°C. Cette greffe a l'avantage de ne presque pas être traitée et de présenter des caractéristiques biomécaniques similaires à l'os natif. Malheureusement, la présence de virus dans les allogreffes osseuses a été démontrée en 1993 [25] et des cas d'infection au VIH et à l'hépatite C auraient été décrits[26], bien que ce risque soit probablement quasi nul à l'heure actuelle du fait du renforcement des contrôles de l'agence de biomédecine.

L'os de banque lyophilisé, *demineralized bone matrix* en anglais (DBM), constitué d'os délipidé au formol et à l'éthanol, congelé à -80°, puis lyophilisé et enfin irradié. L'ensemble de ce traitement va bien sûr modifier les caractéristiques biomécaniques de l'os, mais aussi vider l'ensembles des cellules du donneur des logettes osseuses et ainsi faciliter l'ostéointégration. De plus, aucun cas de contamination au VIH ou à l'hépatite n'a été décrit dans la littérature[27]. Mélangé à de la greffe de moelle osseuse autologue, le DBM a montré un taux de consolidation comparable à l'autogreffe iliaque dans les arthrodèses voie postérieure sur les scolioses[28] et les arthrodèses lombaires postéro-latérales[29].

La xénogreffe :

La xénogreffe fût première greffe osseuse historique, avec la tentative de greffe d'os de voute crânienne de chien par Van Meekeren en 1668[30]. L'intervention fut un succès, mais du fait de l'absence d'autorisation de l'église, la greffe dût être retirée sous peine d'excommunication du patient. L'opération fut réalisée à nouveaux des siècles plus tard, cependant les résultats furent un échec du fait de réactions immunologiques, et en 1867 Leopold Ollier[31] la déconseille : *« D'après nos expériences, il faut immédiatement renoncer à transplanter sur l'homme des lambeaux de périoste provenant d'un autre animal. Nous avons vu que la greffe échoue toujours ou presque toujours entre animaux d'espèces différentes »*

Cependant la xénogreffe est toujours utilisée de nos jours, après traitement pour limiter les rejets. C'est le cas de l'os de Kiel, commercialisé en 1952. Il était obtenu à partir d'os bovin après lavage à l'eau et traitement au peroxyde d'hydrogène. Ses résultats étaient initialement satisfaisants[32] mais beaucoup d'études trouvèrent des résultats divergents[33]. Il fut commercialisé jusque dans les années 2000 sous le nom de Surgibone®. La transmission de prion pathogène n'a jamais été rapportée dans la littérature, et le tissu osseux est classé grade 4 de niveaux infectieux selon l'OMS, correspondant à une infectivité non détectée[34].

---

[25] Salzman et al., « Detection of HIV in Bone Allografts Prepared from AIDS Autopsy Tissue ».

[26] Zimmermann et Moghaddam, « Allograft Bone Matrix versus Synthetic Bone Graft Substitutes ».

[27] Zimmermann et Moghaddam.

[28] Price et al., « Comparison of Bone Grafts for Posterior Spinal Fusion in Adolescent Idiopathic Scoliosis ».

[29] Vaccaro, Stubbs, et Block, « Demineralized Bone Matrix Composite Grafting for Posterolateral Spinal Fusion ».

[30] Haeseker, « Mr. Job van Meekeren (1611–1666) and Surgery of the Hand ».

[31] Ollier, *Traité expérimental et clinique de la régénération des os et de la production artificielle du tissu osseux*.

[32] Churchill-Davidson, Bendall, et Dunkerley, « Initial Impressions of Kiel Bone in Bone Grafting [Abridged] »; Maatz et Bauermeister, « [Clinical experiences with the Kiel graft] ».

[33] Charalambides, Beer, et Cobb, « Poor Results after Augmenting Autograft with Xenograft (Surgibone) in Hip Revision Surgery ».

[34] Arrêté du 23 février 2001 portant additif no 50 à la Pharmacopée.

Les différents inconvénients de ces greffes ainsi que les progrès de l'industrie pharmaceutique ont permis de développer des matériaux, tantôt synthétiques, tantôt issus d'os animal hautement raffiné, dans le but de trouver une alternative qui serait aussi efficace que la greffe de crête iliaque sans en avoir les comorbidités. Il s'agit des **substituts osseux**. On estime à près de 2,2 millions le nombre de greffe osseuse par an (substitut inclus) dans le monde [35].

3. LA CONSOLIDATION OSSEUSE :

Pour comprendre le fonctionnement des substituts osseux, il est indispensable de comprendre les mécanismes en jeu lors de la consolidation osseuse.

Pour obtenir une telle consolidation, ou une fusion, il faut que le site receveur soit colonisé par les cellules responsables de l'ostéogénèse, principalement des ostéoblastes et les ostéoclastes[36]. Ces cellules proviendraient du tissu médullaire et du périoste où des cellules multipotentes d'allure fibroblastiques possédant la capacité à se transformer en ostéoblastes[37]. Ces cellules sont nommées CFU-F *(colony forming unit fibroblasts).* Ces cellules multipotentes peuvent aussi se différencier en myoblastes, fibroblastes ou chondroblaste[38].

La colonisation cellulaire de la zone à consolider implique plusieurs notions fondamentales :

L'ostéoconduction :
Il s'agit de la capacité passive d'un matériau à recevoir des cellules ostéogénitrices par contact de proximité. Le tissu sera colonisé par un tissu conjonctif qui se différenciera ensuite en tissu osseux. Pour que cette ostéoinduction se fasse, plusieurs pré requis sont nécessaires : le tissu doit être biocompatible et ne doit pas entraîner de réaction à corps étranger, auquel cas l'inflammation empêchera l'ostéoconduction, et la zone à consolider doit être stable, car tout micro-mouvement entraverait la néo vascularisation[39].

L'ostéoinduction :
Les matériaux ostéoinducteurs sont capables à eux seuls d'entrainer une différenciation ostéoblastique des cellules fibroblastiques CFU-F environnantes et ainsi entrainer une ostéogénèse. En pratique courante un seul substitut osseux présente des caractéristiques ostéoinductrices significatives : il s'agit des rh-BMP *(recombinant human bone morphogenic protein)*[40]*,* bien que des traces de BMP soient retrouvée dans les allogreffes déminéralisées DBM, mais en quantité insuffisante pour permettre une ostéoinduction, et en quantité très variable d'un donneur à un autre[41].

L'ostéogénicité :
Il s'agit de l'apport direct par le matériau de cellules ostéoprogénitrices. Ce phénomène est observé lors de la réalisation d'autogreffe osseuse ou lors de l'adjonction d'aspirât de moelle osseuse sur un substitut osseux ou de la matrice osseuse déminéralisée[42]. Cette greffe de moelle osseuse est souvent réalisée au trocart, sur la crête

[35] Chai et al., « Les biomatériaux de substitution osseuse ».

[36] Alliston, « Biological Regulation of Bone Quality ».

[37] Bab et al., « Kinetics and Differentiation of Marrow Stromal Cells in Diffusion Chambers in Vivo ».

[38] Cooper, « Biologic Determinants of Bone Formation for Osseointegration ».

[39] Dimitriou et al., « Bone regeneration »; Bauer et Muschler, « Bone Graft Materials. An Overview of the Basic Science ».

[40] García-Gareta, Coathup, et Blunn, « Osteoinduction of Bone Grafting Materials for Bone Repair and Regeneration ».

[41] Wildemann et al., « Quantification of Various Growth Factors in Different Demineralized Bone Matrix Preparations ».

[42] Pountos et al., « Efficacy of Minimally Invasive Techniques for Enhancement of Fracture Healing ».

iliaque[43] et présente des comorbidités négligeables comparées à la prise de greffon osseux iliaque. Elle permet l'apport direct de cellules souches mésenchymateuses sur le site à traiter et est une alternative à l'autogreffe[44].

La résorption :

Pour obtenir une consolidation osseuse pérenne, l'os natif doit progressivement remplacer le substitut. Cela implique donc une résorption du substitut osseux. Cette résorption est le résultat d'une association de dissolution du substitut en milieux aqueux ou d'une réaction à médiation cellulaire, principalement par les cellules polynucléées et les ostéoclastes[45]. La vitesse de cette résorption dépend de nombreux facteurs, notamment la composition du substitut, sa cristallinité et sa porosité. La vitesse initiale de dégradation d'un substitut osseux doit être la plus proche possible de celle de l'ostéoformation, sans jamais dépasser celle-ci[46], auquel cas la perte de contact substitut/os natif compromettrait grandement la consolidation.

La porosité :

Pour être colonisé, un substitut osseux doit présenter une porosité similaire à l'os humain : une microporosité (<10µm) ainsi qu'une macroporosité (> 100 µm). La colonisation cellulaire du substitut osseux va s'effectuer au sein des macropores, puis l'ostéogénèse avec formation de cristaux de carbonate d'hydroxyapatite (CHA) au sein des micropores, perméables aux enzymes ostéolytiques et ostéogénique[47], qui vont ensuite augmenter de volume au fur et à mesure de la résorption du substitut osseux.

4. LES SUBSTITUTS OSSEUX :

Le sulfate de Calcium :

La première utilisation d'un substitut osseux remonte au XIX siècles ou Dressman utilisa le plâtre de Paris, constitué de Sulfate de Calcium $Ca(SO_4)_2O$, comme matériel ostéoconducteur pour combler les pertes de substance osseuse engendrées par le tuberculose[48]. En 1957, Peltier[49] démontra son efficacité sur la consolidation osseuse et sa résorption chez le chien. Sa résorption est très rapide (<12 semaines). Il fût autorisé par le FDA en 1996[50]. Il est toujours utilisé à l'heure actuel sous le nom d'Osteoset® (Stryker), et a montré un taux de résorption de 99% et une consolidation de 88%[51]. Cependant, ses faibles capacités ostéo inductrices et sa mauvaise biocompatibilité entraînant œdème et rougeur persistante limite ses indications au comblement de défects osseux sans perte de continuité (kystes)[52].

---

[43] Muschler, Boehm, et Easley, « Aspiration to Obtain Osteoblast Progenitor Cells from Human Bone Marrow ».

[44] Bruder et al., « Bone Regeneration by Implantation of Purified, Culture-Expanded Human Mesenchymal Stem Cells ».

[45] Yamada et al., « Osteoclastic Resorption of Calcium Phosphate Ceramics with Different Hydroxyapatite/Beta-Tricalcium Phosphate Ratios ».

[46] Hannink et Arts, « Bioresorbability, Porosity and Mechanical Strength of Bone Substitutes ».

[47] Daculsi, Bouler, et LeGeros, « Adaptive Crystal Formation in Normal and Pathological Calcifications in Synthetic Calcium Phosphate and Related Biomaterials ».

[48] Dressman H., *Ueber Knochenplombierung bei Hohlenformigen Defekten des Knochens.*

[49] Peltier et al., « The Use of Plaster of Paris to Fill Defects in Bone ».

[50] Chai et al., « Les biomatériaux de substitution osseuse ».

[51] Kelly et al., « The Use of a Surgical Grade Calcium Sulfate as a Bone Graft Substitute ».

[52] Beuerlein et McKee, « Calcium Sulfates ».

Les céramiques de phosphate de calcium :

Céramiques obtenues par compaction puis frittage à haute température de poudre de phosphate de calcium $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. On en compte plusieurs types : les phosphates tricalciques (TCP), l'hydroxyapatites (HA) et les céramiques biphasées, mélanges des deux précédentes. Leur microporosité est induite lors du frittage, alors que la macroporosité est créée par une matrice tridimensionnelle se dégradant lors de l'exposition à haute température[53]. Elles présentent des caractéristiques ostéo conductrices et favorisent l'ostéo coalescence. Mais n'ont pas de propriété ostéo inductrices, cependant leur utilisation, associée à une greffe autologue de moelle osseuse, leur confèrent un caractère ostéogénique[54]. Elles sont résorbables et progressivement remplacées par de l'os natif, le TCP se résorbe plus rapidement que l'HA[55] . L'HA, quand à elle, présente une structure chimique très proche de la matrice minérale osseuse, lui conférant une très bonne biocompatibilité[56]. Leur combinaison permet donc d'obtenir une ostéoinduction supérieur à l'HA seule avec une meilleur résistance biomécanique de le TCP seul[57].

Le ciment acrylique : poly-méthylméthacrylate (PMMA)

Utilisé pour le scellement des prothèses articulaires internes, pour les comblements osseux dans les tumeurs osseuses et aussi dans les fractures tassement traumatique du rachis (kyphoplastie). Sa polymérisation entraîne une réaction exothermique >80°C néfastes aux cellules voisine[58], et il ne possède pas de caractéristique de résorption, il ne peut donc pas être utilisé seule comme substituts osseux en dehors du comblement de défect en zone non portante. Cependant, son utilisation dans la technique des membranes induites de Masquelet en cas de large perte de substance osseuse[59] a montré la formation autour du PMMA d'une membrane proche du tissu synovial, riche en facteurs de croissances (notamment BMP-2) propices à l'ostéoinduction[60]. Bien sûr, le caractère non résorbable du PMMA implique la nécessité d'une deuxième intervention pour ablation du ciment et mise en place d'une greffe osseuse (autogreffe le plus souvent, mais aussi allogreffe ou substitut).

Le ciment phosphocalcique (CPC) :

Développé en 1986 par Brown et Chow[61]. Il s'agit de ciment résorbable [62] associé à un sel phosphocalcique pour augmenter ses propriétés ostéo inductrices, cependant ce ciment présente une microporosité, sans macroporosité, entravant la colonisation cellulaire[63]. Il ne produit pas de réaction exothermique car il durcit par cristallisation et

---

[53] Daculsi, « Biphasic Calcium Phosphate Concept Applied to Artificial Bone, Implant Coating and Injectable Bone Substitute ».

[54] Toquet et al., « Osteogenic Potential in Vitro of Human Bone Marrow Cells Cultured on Macroporous Biphasic Calcium Phosphate Ceramic ».

[55] Frayssinet et al., « Cell-Degradation of Calcium Phosphate Ceramics »; Koerten et van der Meulen, « Degradation of Calcium Phosphate Ceramics ».

[56] Ghosh et al., « In Vivo Response of Porous Hydroxyapatite and Beta-Tricalcium Phosphate Prepared by Aqueous Solution Combustion Method and Comparison with Bioglass Scaffolds ».

[57] Bansal et al., « Clinical evaluation of hydroxyapatite and β-tricalcium phosphate composite graft in the treatment of intrabony periodontal defect ».

[58] Fernandez de Grado et al., « Bone substitutes ».

[59] Alford et al., « Masquelet's Induced Membrane Technique ».

[60] Masquelet et Begue, « The Concept of Induced Membrane for Reconstruction of Long Bone Defects ».

[61] Brown, W.E. and Chow, L.C, « A new calcium phosphate water-setting cement ».

[62] Russell, Leighton, et Alpha-BSM Tibial Plateau Fracture Study Group, « Comparison of Autogenous Bone Graft and Endothermic Calcium Phosphate Cement for Defect Augmentation in Tibial Plateau Fractures. A Multicenter, Prospective, Randomized Study ».

[63] Chai et al., « Les biomatériaux de substitution osseuse ».

non polymérisation. Il possède une autorisation d'utilisation dans les défects osseux hors zone portante par le FDA depuis 1996[64]. Cependant, une méta analyse sur les défects osseux crâniens montre des résultats discordants ne permettant pas d'affirmer son caractère supérieur ou égal au à l'autogreffe ou même au PMMA, ce pourquoi il doit être utilisé avec précautions[65].

Le verre bioactif :

Développé en 1970 par Hench[66], il s'agit de mélange de minéraux (Silice, oxyde de calcium, oxyde de sodium etc…) dont le traitement thermique permet le développement d'une microstructure polycristalline multidirectionnelle[67]. La silice présente dans le composé se transforme rapidement en hydroxyapatite en milieu aqueux. Ils sont ostéo inducteurs, biocompatibles et biorésorbables[68]. D'autres verres bioactifs à base de Borate et de Phosphate ont été développés plus récemment, permettent principalement de moduler leur durée de résorption[69]. Cependant ces verres bioactifs sont très fragiles et présentent une faible résistance biomécanique[70].

Le corail :

Introduit par Patat et Guillemin à la fin des années 70, ce substitut d'origine naturelle (corail madréporaire) et composé à 99% de Carbonate de Calcium. En 1990, plus de 200 patients avait été opéré avec mise en place de corail sur des défects osseux (principalement crâniens) et les résultats retrouvait une incorporation osseuse retardée, voire inexistante[71]. En effet la dégradation des ces coraux est très rapide car le carbonate de calcium est plus soluble que le phosphate de calcium.
De l'hydroxyapatite dérivé du corail (CHA) a donc été développée, mais malgré des capacités ostéo inductrice et biocompatible très satisfaisantes, ses résultats étaient compromis pas une résistance mécanique médiocre et une dégradation paradoxalement trop longue[72].

Les protéines morphogéniques osseuses humaines (BMP)

Seul substitut osseux à posséder des caractéristiques ostéo inductrices. Parmi les nombreuses protéines formant la famille de BMP, la BMP-2 semble être la plus ostéo inductrice. Les BMP induisent la différenciation des CFU-F en ostéoblastes matures et augmente l'activité phosphatase alcaline de ces cellules[73]. Alors que les BMP sont issus de l'extraction de tissus osseux humains, après déminéralisation, les BMP recombinantes (rh-BMP) sont obtenus par génie génétique, et sont donc moins coûteuse en plus de ne présenter aucun risque de transmission de pathogène, seules les rhBMP-2 sont actuellement commercialisées (Infuse, Medtronic), les rhBMP-7 ayant été retirée du marché en 2014 (Op-1, Stryker)[74].

---

[64] Chai et al.

[65] Afifi et al., « Calcium Phosphate Cements in Skull Reconstruction ».

[66] Hench et al., « Bonding Mechanisms at the Interface of Ceramic Prosthetic Materials ».

[67] Fernandez de Grado et al., « Bone substitutes ».

[68] Lin et al., « The Structural Evolution of Bioglass after Implantation in the Femoral Defects ».

[69] Knowles, « Phosphate Based Glasses for Biomedical Applications »; Rahaman et al., « Bioactive Glass in Tissue Engineering ».

[70] Krishnan et Lakshmi, « Bioglass ».

[71] Loty et al., « Utilisation du corail en chirurgie osseuse ».

[72] Damien et Revell, « Coralline Hydroxyapatite Bone Graft Substitute »; Korovessis et al., « Correlative Radiological, Self-Assessment and Clinical Analysis of Evolution in Instrumented Dorsal and Lateral Fusion for Degenerative Lumbar Spine Disease. Autograft versus Coralline Hydroxyapatite ».

[73] Fages et Frayssinet, « Les substituts du tissu osseux ».

[74] Fernandez de Grado et al., « Bone substitutes ».

Étant très solubles, les BMP ont besoin d'une armature pour être délivrées au long court sur le site souhaité, cette armature peut être une armature de polymère ou de céramique calcique (armature structurale) ou une éponge (non structurale)[75].
Bien que très efficace avec des taux de consolidation comparable, voir supérieur, à l'autogreffe de crête iliaque[76], le caractère ostéo inducteur peut mener à une ossification hétérotopique et à une ankylose ou une compression vasculo-nerveuse, mais aussi à d'importants œdèmes locaux pouvant être compressifs avec un taux de complication total de 23% dans les arthrodèses cervicales antérieures, avec des symptômes regroupant la dysphonie, la dysphagie et la dyspnée [77]. Ce risque de complication serait encore sous-estimé [78]. Bien qu'en 2006, une étude rétrospective nationale américaine de 328 468 patients opéré d'arthrodèse rachidienne n'ait pas montré de taux de complication supérieur dans les arthrodèses lombaires par voie postérieure [79], des études plus récentes dans leur utilisation dans les arthrodèses lombaires par voie antérieure montre un taux supérieur d'éjaculation rétrograde par compression du plexus sacré après utilisation de BMP [80]. Il devient donc de plus en plus difficile de justifier leur utilisation dans les arthrodèses rachidiennes à l'heure actuelle.

Les dérivés xénogéniques hautement raffinés :

Nous avons parlé de l'os de Kiel, issu d'os bovin lavé et traité au peroxyde d'hydrogène. Dans cette lignée, d'autres dérivés d'os animaux ont vu le jour, avec des procédés de raffinage par la chaleur et des solvants chimiques permettant de faire disparaître toute traces d'antigénicité et les enrichir en hydroxyapatite [81] de manière à augmenter les capacités ostéo conductrices et supprimant toute réaction immunologique. Un essai clinique contrôlé randomisé en 1997 de 230 patients a montré que l'utilisation de matrice collagénique bovine enrichie en HA et mélangée à une greffe de cellules souches autologues donnait des résultats comparables à l'autogreffe iliaque, avec 1 seul cas de réaction immunologique infraclinique au collagène bovin sur patch test [82]. L'utilisation des matrices collagéniques a été approuvé par la FDA en 1991 [83].

Parmi eux, le substitut Orthoss® (Geistlich pharma), dérivé de l'os bovin comprenant une structure d'hydroxyapatite carbonaté $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ avec une micro et macro porosité très proche de l'os humain [84]. Il est utilisé avec adjonction d'autogreffe de moelle osseuse, lui confèrent un caractère ostéogénique. Ce substitut a déjà prouvé son efficacité avec une taux de consolidation de 85% dans les arthrodèses rachidiennes postérieures sur les rachis traumatiques [85], mais les données dans la littérature sont encore faibles.

---

[75] Roberts et Rosenbaum, « Bone grafts, bone substitutes and orthobiologics ».

[76] Feng et al., « Efficacy and Safety of Bone Substitutes in Lumbar Spinal Fusion »; Boden et al., « The Use of RhBMP-2 in Interbody Fusion Cages ».

[77] Shields et al., « Adverse Effects Associated With High-Dose Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2 Use in Anterior Cervical Spine Fusion »; Vaidya et al., « Complications of Anterior Cervical Discectomy and Fusion Using Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2 ».

[78] Epstein, « Complications Due to the Use of BMP/INFUSE in Spine Surgery ».

[79] Cahill et al., « Prevalence, Complications, and Hospital Charges Associated with Use of Bone-Morphogenetic Proteins in Spinal Fusion Procedures ».

[80] Epstein, « Complications Due to the Use of BMP/INFUSE in Spine Surgery ».

[81] Legros et al., « [Thermal stability of carbonates in bone tissue] ».

[82] Chapman, Bucholz, et Cornell, « Treatment of Acute Fractures with a Collagen-Calcium Phosphate Graft Material. A Randomized Clinical Trial ».

[83] Chai et al., « Les biomatériaux de substitution osseuse ».

[84] Leteve et Passuti, « Current Concepts in Bone Graft Substitutes ».

[85] Weber et al., « Bio-Derived Apatite As a Bone Graft for Vertebral Trauma ».

3. LA PATHOLOGIE LOMBAIRE :

1. RAPPELS ANATOMIQUES :

Le rachis lombaire :[86]

Structures osseuses :
Le *corps vertébral* est large, réniforme dans le plan axial et largement vascularisé. Ses surfaces supérieure et inférieure appelées plateaux vertébraux sont recouvertes de cartilage articulaire hyalin [87] et répondent aux disques vertébraux. L'ensemble disque et corps vertébral constitue la *colonne antérieure* du rachis.

En arrière se dessine une structure osseuse arciforme entourant le canal médullaire : l'*arc postérieur*. Il est constitué d'avant en arrière des *pédicules* rectilignes dans le plan sagittal et implantés à la partie supérieure de chaque arêtes postéro-latérales des corps vertébraux. Leurs parties supérieure et inférieure sont creusées par les incisures vertébrales, qui délimitent les foramens de conjugaison.
Les pédicules vont se poursuivre en arrière par les *lames*. Ces lames vont se rejoindre pour fermer l'arc postérieur. A la jonction pédicules et lames émergent les *processus transverses*, d'orientation latérale, servant de point d'insertion aux muscles paravertébraux et ilio-psoas. A la jonction entre les deux lames émerge le *processus épineux*, sagittal et orienté vers le bas et l'arrière.

A la jonction pédicule-lame émergent aussi les *processus zygapophysaires*, ou articulaires supérieure (crâniale) et inférieure (caudale). La surface articulaire supérieure, concave, est orientée vers l'arrière et médialement, alors que la surface articulaire inférieure, convexe, regarde vers l'avant et latérale, elles sont recouvertes de cartilage et s'articulent entre elles. La structure reliant les processus articulaires supérieur et inférieur d'une même vertèbre est appelée *isthme vertébrale*. Cette continuité entre les processus articulaires, la capsule et l'isthme constitue les deux *colonnes postérieures* de la colonne vertébrale.

Structure disco-ligamentaires :
Comme nous l'avons mentionné, les corps vertébraux sont articulées entre eux pas les *disques intervertébraux*, constitués d'une partie périphérique, rigide et fibreuse : l'*annulus fibrosis*, et une partie centrale plus souple et plus riche en eau : le *nucleus pulposus*. Il s'agit d'une amphiarthrose.
Les corps vertébraux sont aussi reliés entre eux en avant par le *ligament longitudinal antérieur* et en arrière par le *ligament longitudinal postérieur*, intra-canalaire.
Les processus articulaires supérieurs et inférieurs de deux vertèbres adjacentes sont articulés entre eux par une capsule articulaire épaisse, dont la face interne est recouverte de tissu synovial. Tendu entres les lames de deux vertèbres adjacentes se trouve les *ligaments jaunes*, de par leur aspect macroscopique, épais au niveau lombaire, aux fibres verticales. Le *ligament inter-épineux* est comme son nom l'indique tendu entre les processus épineux, de plus les sommets de processus épineux sont reliés par un long ligament longitudinal : le *ligament supra-épineux*.[88]

Les racines nerveuses :

La moelle épinière se trouve, tout le long du rachis, dans le canal médullaire, entourée par le fourreau dural, à l'intérieur duquel circule le liquide céphalo-rachidien. Dans sa partie terminale, la moelle épinière présente, au niveau thoracique bas et lombaire haut, une augmentation de diamètre, appelé *renflement lombaire*, zone d'origine des racines nerveuses innervant les membres inférieurs. Après ce renflement, la moelle épinière va se terminer au sein du *cône médullaire* entre les première et deuxième vertèbres lombaires. Elle se prolonge ensuite en une longue radicelle de tissus conjonctif, le *filum terminal*, qui se poursuit en dehors du cul de sac dural au niveau de S2 pour s'attacher caudalement au niveau du coccyx[89]
C'est ainsi que vont émerger du renflement lombaires toutes les racines nerveuses terminales de L2 à S5, destinée à l'innervation des membres inférieurs et du périnée. Ces racines nerveuses vont alors toutes se trouver libres, au

[86] Pierre Kamina, *Anatomie clinique - Tome II - Tête, Cou, Dos*.

[87] Balkovec et al., « Annulus Fibrosus Can Strip Hyaline Cartilage End Plate from Subchondral Bone ».

[88] F Netter, *Atlas d'anatomie humaine*.

[89] F Netter.

sein du fourreau dural, accompagnant le filum terminal entre le cône terminal et le cul de sac dural. Cette structure anatomique de par son aspect est appelée *queue de cheval.*
A chaque niveau intervertébral, et de manière bilatérale, une racine nerveuse (portant arbitrairement nom de la vertèbre sous-jacente) va sortir du fourreau dural par le récessus latéral et prendre un trajet oblique descendant pour sortir du canal médullaire par le foramen de conjugaison du niveau sous-jacent. Ainsi pour un niveau intervertébral donné, la racine sortante sera nommée selon la vertèbre sus-jacente et la racine émergente selon la vertèbre sous-jacente.

Le canal lombaire :[90]

Le canal lombaire central :
Le canal lombaire central correspond au défilé longitudinal dans lequel se place le fourreau dural. Il est composé d'anneaux rigides formés par le corps vertébral en avant, l'arc postérieur en arrière et le pédicule latéralement. Ils sont alternés par des anneaux mobiles, limités par le disque intervertébral en avant et la région zygapophysaire postérieurement. Il s'ouvre latéralement sur le canal latéral.

Le canal latéral :
Il correspond à la zone de jonction entre le canal central et le foramen vertébral. Il s'agit de la zone d'où émergent les racines nerveuses correspondant à la vertèbre sus-jacente. Il est composé du défilé disco-radiculaire paramédian puis du récessus latéral. Ce récessus latéral correspond au défilé osseux circonscrit par le corps vertébral en avant et l'articulaire supérieure de la vertèbre sous-jacente en arrière. Il se poursuit en foramen de conjugaison.

Le foramen intervertébral de conjugaison :
Le foramen de conjugaison est la zone située entre les pédicules des deux vertèbres adjacentes. Il est donc délimité dans sa région supérieure par la partie inférieure du pédicule de la vertèbre sus jacente, et dans sa région inférieure par la partie supérieure du pédicule de la vertèbre sous-jacente. En antérieur, il est délimité par la partie inférieure du corps vertébral de la vertèbre sus-jacente puis par le disque intervertébral. En postérieur il est limité par l'articulaire supérieure de la vertèbre sous-jacente, mais aussi par la capsule articulaire et une partie du ligament jaune. On comprend ainsi que toute protrusion discale ou hypertrophie articulaire postérieure va entraîner une sténose de ce foramen, mais aussi toute perte de hauteur discale, qui entraînera une perte en hauteur du foramen.

2. PHYSIOPATHOLOGIE :

L'arthrose lombaire :

La pathologie dégénérative lombaire entre dans le cadre de la pathologie arthrosique et en partage certains facteurs des risques, âge, obésité, tabac, diabète[91] ainsi que les risques professionnels et le port de charge lourdes[92]. Cette arthrose va se développer au sein des 3 articulations du rachis lombaire et peut atteindre plusieurs niveaux lombaires simultanément.

Au niveau de la colonne antérieur, la radiographie va mettre en évidence le trépied radiologique de l'arthrose : une perte de hauteur discale, des ostéophytes et une condensation des plateaux vertébraux. A cela peut s'associer une calcification du ligament longitudinal antérieur (entésophytes) voir postérieur. La dégénérescence discale va entraîner une dessiccation du disque, un effondrement de celui-ci, des fissurations dégénératives[93], voir une formation de gaz intradiscal, principalement composé de nitrogène[94]. A L'IRM, le disque pathologique va montrer une tonalité T2 en hyposignal du fait de la déshydratation du disque intervertébral classé en 5 stades selon

[90] Ferrero, E.; Ould-Slimane, M.; Guigui, P., « Traitement chirurgical des sténoses du canal lombaire ».

[91] Jakoi et al., « The Clinical Correlations between Diabetes, Cigarette Smoking and Obesity on Intervertebral Degenerative Disc Disease of the Lumbar Spine ».

[92] Yang et al., « Influence of Occupation on Lumbar Spine Degeneration in Men ».

[93] Vernon-Roberts et Pirie, « Degenerative Changes in the Intervertebral Discs of the Lumbar Spine and Their Sequelae ».

[94] Ford et al., « Analysis of Gas in Vacuum Lumbar Disc ».

Pfirrmann[95]. Il s'yassocie un infiltrat des plateaux vertébraux adjacents qui va se développer [96] et évoluer de l'œdème (hyper signal T2), vers l'involution graisseuse (iso signal T1 et T2) à la sclérose (hyposignal T1 et T2), décrit par Modic en 1988.

Au niveau zygapophysaire, des signes d'arthrose vont aussi apparaître, souvent après l'apparition des signes d'atteintes antérieure[97]. Vont alors se développer un amincissement de l'interligne articulaire (plus facilement visible au scanner), une ostéophytose avec hypertrophie zygapophysaire, mais aussi un épaississement capsulaire, voir des kystes articulaires pouvant faire saillie dans le canal ou dans le récessus latéral [98]. En cas d'instabilité, l'interligne articulaire peut être faussement élargie par la subluxation vertébrale, appelée spondylolisthésis[99].

L'ensemble de ses modifications morphologiques du rachis vont expliquer la symptomatologie du patient. D'une part des douleurs mécaniques, liées à la sollicitation de ses articulations dégénératives. D'autre part, la perte de hauteur discale, l'hypertrophie zygapophysaire parfois associée à des kystes vont entraîner une sténose foraminale venant comprimer la racine nerveuse et provoquer des douleurs neuropathiques.

La protrusion discale :

Lors de l'effondrement du disque dégénératif, celui-ci peut faire saillie sur les bords périphériques et dépasser les limites de plateau vertébral. Lorsque que cette saillie est postérieure, dans le canal lombaire on parle de protrusion discale. Il arrive aussi qu'une partie du disque, pouvant être du nucleus ou de l'annulus fasse saillie à travers la partie périphérique du disque et ne soit plus retenue que par quelques fibres d'annulus ou par le ligament longitudinal postérieur, on parle alors de hernie lombaire. Celle-ci peut aussi totalement se désolidariser du disque si elle passe au-delà du ligament longitudinal, on parle alors de hernie exclue[100].

On comprend bien que ces protrusions et hernies, en plus d'entraîner des douleurs mécaniques sur la défaillance discale, peuvent comprimer les structures nerveuses postérieures et provoquer des douleurs neuropathiques voir de véritables déficits neurologiques des membres inférieurs ou du périnée (syndrome de la queue de cheval).

Le canal lombaire étroit :

L'arthrose lombaire engendre une diminution du diamètre du canal lombaire central par protrusion discal postérieure et un épaississement des parties molles, notamment le ligament jaune et les capsules articulaires. La gravité de cette sténose fut classée en 4 stades par Schizas en 2010[101]. S'ajoute à cela une sténose du foramen intervertébral, par diminution de la hauteur discale, qui va s'accompagner d'une perte de hauteur du foramen, associé à une sténose canalaire par la protrusion du disque intervertébral et postérieure par l'hypertrophie articulaire postérieure.

La symptomatologie sera alors dominée par une claudication des membres inférieurs à la marche en cas de sténose canalaire, et de syndrome radiculaire en cas de sténose foraminale, voire de syndrome de la queue de cheval en cas d'atteinte des racines nerveuses innervant la région périnéale. De plus, bien qu'ankylosé par l'arthrose, le rachis lombaire reste mobile et ces sténoses peuvent revêtir un caractère dynamique ou non, comme lors de la claudication neurologique, survenant à la marche, et soulagée par l'antéflexion du rachis lombaire (signe du caddie)[102].

---

[95] Pfirrmann et al., « Magnetic Resonance Classification of Lumbar Intervertebral Disc Degeneration ».

[96] Modic et al., « Degenerative Disk Disease ».

[97] Suri et al., « Does lumbar spinal degeneration begin with the anterior structures? »

[98] Gellhorn, Katz, et Suri, « Osteoarthritis of the spine ».

[99] Wybier, « Imagerie de la pathologie lombaire dégénérative ».

[100] Kim, Wu, et Jang, « Lumbar Degenerative Disease Part 1 », 1.

[101] Schizas et al., « Qualitative Grading of Severity of Lumbar Spinal Stenosis Based on the Morphology of the Dural Sac on Magnetic Resonance Images ».

[102] Ferrero, E.; Ould-Slimane, M.; Guigui, P., « Traitement chirurgical des sténoses du canal lombaire ».

Le spondylolisthésis dégénératif :
L'instabilité intervertébrale secondaire à l'arthrose, entraînée par la perte de rigidité discale et la diminution de la congruence articulaire postérieure peut évoluer jusqu'au spondylolisthésis dégénératif. A ne pas confondre avec le spondylolisthésis par lyse isthmique de l'adolescent. La vertèbre sus jacente va alors se subluxer en avant, provoquant une sténose du canal lombaire central par effet coupe-cigare mais aussi une sténose foraminale avec compression radiculaire[103].

3. PRISE EN CHARGE MEDICALE :

La prise en charge initiale de la pathologie lombaire dégénérative, en l'absence de déficit neurologique, est premièrement conservatrice, avec plusieurs options thérapeutiques, souvent combinées.

Traitements antalgiques :
Ils comprennent les antalgiques de palier 1 à 3, les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) et les myorelaxants. Il s'agit d'un traitement uniquement symptomatique et non dénué d'effets indésirables en cas de forte dose ou d'utilisation prolongée : dépendance pour les morphiniques, insuffisance rénale pour les AINS etc. Les douleurs neuropathiques étant souvent rebelles aux antalgiques classiques, des médicaments de la classe des anti épileptique (prégabaline, gabapentine) ou antidépresseurs (amitriptyline) peuvent être utilisés. Leur efficacité sur les douleurs neuropathiques est reconnue, mais n'apparaît qu'au bout de plusieurs semaines. Ils peuvent être pris au long court, malgré un léger effet sédatif[104].

La kinésithérapie :
La kinésithérapie de renforcement musculaire en extension et l'apprentissage des gestes d'épargne dorsale est indispensable à la prise en charge des patients souffrant de lombalgies chroniques ; à visée antalgique et pour retarder l'évolution de la pathologie lombaire.

Les Infiltrations :
Les infiltrations de corticoïdes sont une alternative peu invasive à la prise en charge de la pathologie lombaire. Elles sont multiples : épidurales[105] ou périarticulaires[106]. Sous contrôle échographique ou scanographique, l'effet d'adhésiolyse de l'injection de liquide sous pression près de la racine permettrait aussi de la libérer à minima en cas de compression[107]. Cependant, ces infiltrations restent principalement un traitement symptomatique et leurs effets dans le temps sont souvent limités. De plus elles se montrent décevantes en cas de sténose canalaire[108] et sont peu efficace sur la composante mécanique des douleurs, y compris en cas d'infiltration facettaire[109].

---

[103] Thompson, W.; Cogniet, A.; Leglise, A.; Rigal, J.; Le Huec, J.-C, « Techniques chirurgicales dans le traitement des spondylolisthésis par lyse isthmique et dégénératifs : principes communs et spécifiques - ClinicalKey Student ».

[104] « LYRICA »; « LAROXYL »; « NEURONTIN ». Vidal

[105] Manchikanti et al., « Effectiveness of Therapeutic Lumbar Transforaminal Epidural Steroid Injections in Managing Lumbar Spinal Pain ».

[106] Kanayama, Oha, et Hashimoto, « What Types of Degenerative Lumbar Pathologies Respond to Nerve Root Injection? »

[107] Lee et Lee, « Clinical Effectiveness of Percutaneous Adhesiolysis Using Navicath for the Management of Chronic Pain Due to Lumbosacral Disc Herniation ».

[108] Kanayama, Oha, et Hashimoto, « What Types of Degenerative Lumbar Pathologies Respond to Nerve Root Injection? »; Chou et al., *Pain Management Injection Therapies for Low Back Pain*.

[109] Chou et al., *Pain Management Injection Therapies for Low Back Pain*.

Les décompressions percutanées :

En cas de sténose canalaire ou radiculaire, des techniques de décompression percutanée, sous contrôle scanographique ont été mises en place. Elles consistent à libérer les éléments nerveux et à réduire la taille de la protrusion par divers mécanismes (radiofréquence, thermique, chimique, mécanique). Ces techniques sont efficaces en cas de protrusion discale de taille modérée, mais elles ne peuvent empêcher la pathologie lombaire de progresser au long terme[110].

Les traitements conservateurs ?

Malgré les énormes progrès récents concernant les thérapies géniques et cellulaires [111], il n'existe actuellement pas de traitement curatif conservateur de la pathologie lombaire dégénérative. Du fait de son évolutivité, la prise en charge de l'arthrose lombaire, tout comme la gonarthrose ou la coxarthrose, est souvent *in fine* chirurgicale.

4. L'ARTHRODESE LOMBAIRE :

Les différents types d'arthrodèses lombaires :

Plusieurs types d'arthrodèse lombaires ont été décrits :

Les arthrodèses postérieures comprenant les lames et les articulations inter facettaires, les arthrodèses postéro latérales comprenant une fusion des articulations inter facettaires et des processus transverses. Les arthrodèses intersomatiques qui concernent la fusion de la colonne rachidienne antérieure : les corps vertébraux. Et enfin les arthrodèses circonférentielles, comprenant l'arthrodèse des corps vertébraux et des articulations inter facettaires.

Concernant les techniques chirurgicales, la première historiquement fut l'arthrodèse lombaire postérieure (*Posterior lumbar interbody fusion* PLIF), décrite en 1953 par Cloward[112] (non instrumentée à l'époque) comprenant une lamino-arthrectomie bilatérale associée à une discectomie après refoulement du fourreau dural sur la gauche pour évider la partie droite du disque intraverbal droit, et inversement pour la partie gauche, avec ensuite mise en place d'une cage d'arthrodèse intersomatique et une ostéosynthèse postérieure par vis pédiculaires et tiges.

L'arthrodèse lombaire antérieure (*anterior lumbar interbody fusion* ALIF) consiste en une voie d'abord abdominale, supra symphysaire, avec refoulement du sac péritonéal pour un abord direct du disque vertébral, elle ne permet pas d'arthrodèse circonférentielle dans le même temps opératoire, les structures postérieures n'étant pas accessibles.

Des abords latéraux : LLIF (*latéral lumbar interbody fusion*) permettent un abord du disque intervertébral latéral, à travers les muscles ilio-psoas. Une alternative à cette voie d'abord est l'OLIF (*oblique lumbar interbody fusion*) permettant un abord antéro-latéral du disque intervertébral, en passant en avant du muscle ilio-psoas.

[110] Wu, Kim, et Jang, « Intervertebral Disc Diseases PART 2 », 2; Raj, « Intervertebral Disc ».

[111] Wu, Kim, et Jang, « Intervertebral Disc Diseases PART 2 », 2.

[112] Cloward, « The Treatment of Ruptured Lumbar Intervertebral Discs ».

Le TLIF :

L'arthrodèse lombaire transforaminale *(transforaminal lumbar interbody fusion* TLIF*)* fut décrite la première fois en 1993 par Harms et Jeszenszky [113], chirurgiens allemands.

Indications : Pathologies lombaires dégénératives : hernie lombaire symptomatique, spondylolisthésis symptomatique, canal lombaire étroit, déformation rachidienne lombaire dégénérative courte.

Contre-indications : Spondylodiscite septique, Instabilité rachidienne majeure, fracture des corps vertébraux, tumeur rachidienne, adhérence méningée sévère, ostéoporose sévère.

Objectifs :
Décompression canalaire par lamino-arthrectomie et discectomie. Restitution de la hauteur discale permettant une ouverture des foramens vertébraux sténosés et une libération des racines nerveuses comprimées. Restitution de la lordose lombaire en cas de déformation dégénérative et notamment de spondylolisthésis. Amélioration de la stabilité segmentaire par fusion vertébrale au niveau des trois articulations dégénératives.

Installation : décubitus dorsal ou genu-pectum.

Voie d'abords **:** Deux sont possibles :
Abord médian, centré sur les épineuses, avec dissection le long de l'épineuse, jusqu'aux lames vertébrales.
Abord de Wiltse : mini-invasif, passant entre le muscle multifidus (médial) et longissimus (latéral), abords de la vertèbre en regard du massif articulaire.

Gestes ostéo ligamentaires :
Réalisation d'une arthrectomie homolatérale à la radiculalgie, emportant la portion inféro latérale de la vertèbre sus-jacente et la facette supérieure de la vertèbre sous-jacente.
Des vis pédiculaires sont ensuite mises en place selon les principes de Roy-Camille.
Une discectomie partielle est ensuite réalisée à l'aide de pinces à disques et de curettes courbes dédiées à travers la fenêtre réalisée par l'arthrectomie, en dessous de la racine nerveuse passante et au-dessus de la racine nerveuse sortante.
Un avivement des surfaces articulaires est ensuite réalisé au niveau du plateau inférieur de la vertèbre sus-jacente et du plateau supérieur de la vertèbre sous-jacente. Cet avivement ne doit pas être trop agressif pour préserver l'os sous chondral et éviter la subsidence de la future cage.

Distraction et arthrodèse intercorporéale :
La distraction intervertébrale est obtenue à l'aide de spacer reprenant la hauteur des différentes cages, jusqu'à obtention d'un résultat satisfaisant. On peut s'aider d'un amplificateur de brillance à ce stade pour s'assurer de l'absence de sur ou sous correction de l'interligne. Une fois la distraction optimale obtenue, une cage de taille correspondant est mise en place, celle-ci est préalablement remplie de greffe osseuse (autogreffe, allogreffe, substitut ou mélanges), il est possible de mettre en place 2 cages selon la taille des implants mais aussi des vertèbres du patient.

Finalisation de l'arthrodèse facettaire postérieure :
Mise en place des tiges dans les têtes de vis après cintrage pour correction de la déformation (lordose), après mise en place de greffe osseuse en regard de l'arthrectomie.

Fermeture plan par plan :
Aponévrose musculaire, tissus sous cutané, tissus cutané, avec ou sans drainage.

Post opératoire :
Pas d'immobilisation systématique, le lever est autorisé dès J0, l'anticoagulation préventive les premiers jours est réalisée mais de plus en plus remise en cause du fait de la verticalisation précoce des patients.
Kinésithérapie de renforcement musculaire dorsal en extension, pas de port de charge lourdes durant 6 semaines.

[113] Harms et Jeszenszky, « Die posteriore, lumbale, interkorporelle Fusion in unilateraler transforaminaler Technik ».

Comparaisons avec les autres techniques d'arthrodèses :

Comparé au PLIF, le TLIF permet une diminution significative du temps opératoire et des saignements, associée à une diminution des complications neurologiques de par un étirement moindre du fourreau dural, pour des améliorations fonctionnelles et un taux de fusion comparables[114]. Il permettrait aussi une meilleure restitution de la hauteur discale[115].

Par rapport à l'ALIF, le TLIF présente moins de risques de lésions vasculaires et du plexus sacré[116], malgré une meilleure restitution de la hauteur discale pour l'ALIF. Le taux de fusion est comparable entre ALIF et TLIF malgré un taux de migration de cage supérieur pour les ALIF[117].

L'OLIF présente l'avantage d'une durée d'hospitalisation et de pertes sanguines moindres que le TLIF, pour une durée opératoire, des résultats fonctionnels et une consolidation comparables[118].

Le LLIF présente des résultats similaires au TLIF en terme de résultats cliniques et radiographiques, mais les données dans la littérature sont faibles[119].

[114] Sakeb et Ahsan, « Comparison of the Early Results of Transforaminal Lumbar Interbody Fusion and Posterior Lumbar Interbody Fusion in Symptomatic Lumbar Instability ».

[115] Ishihara et al., « Comparison of Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Using the Boomerang-Shaped Cage with Traditional Posterior Lumbar Interbody Fusion for Lumbar Spondylolisthesis ».

[116] Mobbs et al., « Lumbar interbody fusion ».

[117] Teng et al., « A Meta-Analysis Comparing ALIF, PLIF, TLIF and LLIF ».

[118] Chang et al., « Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF) versus Oblique Lumbar Interbody Fusion (OLIF) in Interbody Fusion Technique for Degenerative Spondylolisthesis ».

[119] Teng et al., « A Meta-Analysis Comparing ALIF, PLIF, TLIF and LLIF »; Barbagallo et al., « Lumbar Lateral Interbody Fusion (LLIF) ».

Étude rétrospective scanographique de la consolidation osseuse à 1 an d'un substitut osseux dérivé de l'os bovin dans les arthrodèses lombaires transforaminales (TLIF)

1. Problématique :

L'arthrodèse intercorporéale consiste à remplacer tout ou partie d'un disque vertébrale pathologique par une cage d'arthrodèse, elle-même remplie de greffe osseuse ou de substitut osseux dans le but d'obtenir un pont d'ossification entre les deux corps vertébraux[120]. Cette arthrodèse antérieure est souvent associée à une ostéosynthèse postérieure pas vissage pédiculaire des vertèbres sus et sous-jacentes complétée par une greffe d'os autologue et/ou substitut osseux dans le but d'obtenir une fusion osseuse entre les arcs postérieurs des vertèbres, après arthrectomies.

Comme nous l'avons vu précédemment, une multitude de greffes osseuses et de substituts existent. Le gold standard reste la greffe osseuse iliaque autologue, mais sa réalisation s'accompagne de comorbidités fréquentes sur le site prélevé[121]. L'autogreffe locale de décortication présente l'avantage d'être prélevée sur le site de l'intervention et de ne pas ajouter de comorbidité, mais ces résultats sur la fusion sont moindres que la greffe iliaque[122]. C'est dans ce contexte que furent développés les substituts osseux. Parmi eux, ceux qui furent le plus utilisés et le plus étudiée furent les protéines recombinantes morphogéniques osseuses humaines (rhBMP) 2 et 7, et tandis que la rh-BMP7 présente des résultats décevants sur la consolidation[123], le rhBMP-2 présente lui un taux de consolidation supérieur à la greffe iliaque [124] mais son utilisation doit être réfléchie du fait d'un taux de complication supérieure à celle-ci [125]. La recherche de substituts osseux fiables et inoffensifs est donc toujours d'actualité.

Dans cette étude, nous étudions un substitut osseux xénogénique hautement raffiné dérivé de l'os bovin : Orthoss® distribué par le laboratoire Geistlich Pharma. Ce substitut présente une micro et macroporosité proche de l'os humain favorable à l'ostéoconduction et la néovascularisation[126].
L'objectif principal de cette étude est le taux de fusion à 1 an du substitut Orthoss® dans les TLIF. Les objectifs secondaires sont la qualité de vie, la douleur, les complications et l'étude des facteurs de risques de pseudarthrose.

[120] Harms et Jeszenszky, « Die posteriore, lumbale, interkorporelle Fusion in unilateraler transforaminaler Technik ».

[121] Tohmeh et al., « Allograft Cellular Bone Matrix in Extreme Lateral Interbody Fusion »; Banwart, Asher, et Hassanein, « Iliac Crest Bone Graft Harvest Donor Site Morbidity. A Statistical Evaluation ».

[122] Feng et al., « Efficacy and Safety of Bone Substitutes in Lumbar Spinal Fusion ».

[123] Feng et al.

[124] Boden et al., « The Use of RhBMP-2 in Interbody Fusion Cages »; Dimar et al., « Clinical Outcomes and Fusion Success at 2 Years of Single-Level Instrumented Posterolateral Fusions with Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2/Compression Resistant Matrix versus Iliac Crest Bone Graft ».

[125] Shields et al., « Adverse Effects Associated With High-Dose Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2 Use in Anterior Cervical Spine Fusion »; Vaidya et al., « Complications of Anterior Cervical Discectomy and Fusion Using Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2 »; Epstein, « Complications Due to the Use of BMP/INFUSE in Spine Surgery ».

[126] Daculsi, Bouler, et LeGeros, « Adaptive Crystal Formation in Normal and Pathological Calcifications in Synthetic Calcium Phosphate and Related Biomaterials »; Leteve et Passuti, « Current Concepts in Bone Graft Substitutes ».

2. Matériel et méthode :

Nous avons réalisé une étude rétrospective de phase IV en soins courants, au sein de 2 centres hospitaliers (CHU de Poitiers, Clinique Saint-Charles de La Roche-sur-Yon). Cette étude a été déclarée à la CNIL (n°2226638)

Les critères d'inclusions étaient les suivants : Patients de 18 ans ou plus présentant une pathologie lombaire dégénérative avec indication à une arthrodèse transforaminale (TLIF) sur 1, 2 ou 3 étage(s).

Les critères de non-inclusions étaient : un âge inférieur à 18 ans, les femmes enceintes, le rachis tumoral primitif ou secondaire, les pathologies rachidiennes infectieuses en cours.

L'évaluation de la consolidation était réalisée sur le scanner de suivi réalisé à 1 an selon la classification de Lenke [127] – *Tableau 1*. Les stades 1 et 2 étaient considérés comme consolidés, 3 et 4 comme non consolidés. Un niveau vertébral était considéré comme fusionné si 1 des deux scores était égal à 1 ou 2. Pour l'analyse des facteurs de risque, les patients étaient considérés comme fusionnés si l'ensemble des niveaux opérés étaient consolidés.

La qualité de vie était évaluée par le questionnaire d'Oswestry, la douleur par l'EVA au niveau des jambes et du dos. Plusieurs facteurs de risque ont été étudiés : l'âge, le sexe, l'IMC, le diabète, le tabagisme, l'utilisation d'AINS et de corticoïdes, le nombre de niveaux arthrodèses.

Les études statistiques ont été réalisées via le logiciel biostaTGV. Pour les variables qualitatives, nous avons réalisé des tests exacts de Fisher ; pour les valeurs quantitatives des tests de Wilcoxon, pour des risques alpha=5% et bêta =20%.

3. Résultats :

1. DONNEES EPIDEMIOLOGIQUES :

Notre série comportait 34 patients opérés pour 41 niveaux d'arthrodèse. 53% était des femmes pour un sexe ratio de 0,89. 85% des patients ont été opérés sur 1 seul niveau, 15% sur 2 niveaux ou plus. Le niveau opéré le plus fréquemment était L4/L5 (65%), suivi de L5/S1 (29%), L3/L4 (12%) et L2/L3 (2%).

Anterior fusion grades	
Grade I	*Fused with remodeling and trabeculae*
Grade II	*Graft intact, not fully remodeled and incorporated though. No lucencies.*
Grade III	*Graft intact, but a definite lucency at the top or bottom of the graft.*
Grade IV	*Definitely not fused with resorption of bone graft and with collapse.*
Posterior fusion grades	
Grade I	*Solid trabeculated transverse process and facet fusions bilaterally.*
Grade II	*Thick fusion mass on one side. Difficult to visualize on the other side.*
Grade III	*Suspected lucency or defect in the fusion mass.*
Grade IV	*Definite resorption of graft with fatigue of the instrumentation.*

Tableau 1 - Classification de Lenke sur la consolidation des arthrodèses, en anglais, telle qu'elle fût décrite par Bridwell et Lenke en 1995.

[127] Lenke et al., « Results of in Situ Fusion for Isthmic Spondylolisthesis »; Bridwell et al., « Anterior Fresh Frozen Structural Allografts in the Thoracic and Lumbar Spine. Do They Work If Combined with Posterior Fusion and Instrumentation in Adult Patients with Kyphosis or Anterior Column Defects? »

L'IMC moyen était de 27,2, 32% des patients étaient en surpoids, 29% en état d'obésité selon l'IMC. 26% des patients étaient tabagiques actifs, ce qui correspond à 38% des niveaux opérés. 21% était sous AINS au long court, pour 22% des niveaux opérés. 1 seul patient (3%) était sous corticoïdes (inhalés) au long court, celui-ci avait bénéficié d'une arthrodèse 3 niveaux (7%). 1 seul patient était diabétique (3%) et avait lui aussi été opéré sur 3 niveaux (7%) – *Tableau 2*. 24 patients (70%) avaient répondu aux questionnaires de suivi (Oswestry et EVA).

		Nombres	Pourcentages
Total :	*Patients* :*	*34*	*100%*
	niveaux :	41	100%
Sexe	*femmes**	*18*	*53%*
	*hommes**	*16*	*47%*
	sexe ratio	*0,89*	
Age*	*moyenne*	*61,3*	
Nombre de niveaux*	*1*	*29*	*85%*
	2	*3*	*9%*
	3	*2*	*6%*
	moyenne	*1,2*	
Niveaux opérés	L2/L3	1	2%
	L3/L4	5	12%
	L4/L5	23	56%
	L5/S1	12	29%
IMC*	*surpoids*	*11*	*32%*
	Obésité	*10*	*29%*
	IMC moyen	*27,2*	
Tabagisme :	niveaux	13	38%
	*patients**	*9*	26%
AINS	niveaux	9	22%
	*patients**	*7*	*21%*
Corticoïdes	niveaux	3	7%
	*Patients**	*1*	*3%*
Diabète	niveaux	3	7%
	*Patients**	*1*	*3%*

*Tableau 2 - Données épidémiologiques. * les pourcentages marqués par une étoile ont été calculés par patient et sur l'ensemble du nombre de patients de l'étude (n=34). Les autres ont été calculés par niveaux (n=41).*

1. CONSOLIDATION :

Concernant la consolidation, 31 des 41 niveaux opérés avaient consolidé (76%) et 26 des 34 patients opérés avaient consolidé l'ensemble des niveaux opérés (76%) – *Tableau 3.*

2. COMPLICATIONS :

Le nombre de complications postopératoires était de 6 (18%), parmi elles : 2 radiculalgies post opératoire, 1 infection de site opératoire précoce et 3 syndromes adjacents. Toutes les complications sont survenues parmi les patients consolidés, cependant il n'y avait pas de différence significative entre les groupes (p=0,297). 2 patients (6%) ont nécessité une reprise chirurgicale. – *Tableau 3*

3. RESULTATS FONCTIONNELS :

Chez les 24 patients ayant rempli le questionnaire à 1 an, le score d'Oswestry moyen était de 20,33% d'handicap, pour une moyenne de 20,33 dans les 2 groupes (consolidés vs non consolidés). L'EVA moyenne au niveau du dos était de 4,6, pour une moyenne 4,78 chez les patients consolidés contre 4,17 chez les patients non consolidés. L'EVA moyen au niveau des jambes était de 4,2, pour 4,22 chez les patients consolidés contre 4,0 chez les non consolidés. Nous n'avons pas retrouvé de différence statistiquement significative entre ces deux groupes sur les 3 critères précédents (p>0,05) – *Tableau 4.*

4. ÉTUDE DES FACTEURS DE RISQUE :

Nous n'avons pas retrouvé de différence statistiquement significative sur les analyses concernant l'âge, le sexe, le tabagisme, les AINS, les corticoïdes, le niveau opéré ni le nombre de niveaux opéré (p>0,05). Nous avons cependant trouvé un IMC statistiquement plus élevé chez les patients consolidés (28,5 vs 24,4, p=0,012). Ainsi qu'un taux de non consolidation statistiquement plus élevé chez les diabétiques (30% vs 0%, p=0,011) – *Tableau 5.*

		Nombres	Pourcentages
Lenke antérieur	Grade 1	13	32%
	Grade 2	14	34%
	Grade 3	11	27%
	Grade 4	3	7%
	médiane :	2	
Lenke antérieur	Grade 1	10	24%
	Grade 2	17	41%
	Grade 3	13	32%
	Grade 4	1	2%
	médiane :	2	
Consolidation :	niveaux :	31	76%
	patients :*	*26*	*76%*
Complications* :	*total :*	*6*	*18%*
	reprises :	*2*	*6%*

*Tableau 3 - Consolidation et complications. Les pourcentages de patients/niveaux consolidés ne sont pas égaux à la somme des Lenke 1 et 2 car un niveau était considéré comme consolidé quand au moins 1 des deux grades de Lenke était inférieur ou égal à 2 ; un patient était considéré comme consolidé quand l'ensemble de ses niveaux opérés étaient consolidés. * les pourcentages marquées par une étoile ont été calculés par patient et sur l'ensemble du nombre de patients de l'étude (n=34). Les autres ont été calculés par niveaux (n=41).*

4. Discussion :

1. CONSOLIDATION ET ANALYSE SCANOGRAPHIQUE :

Notre étude retrouve un taux de consolidation des arthrodèses lombaires avec le substitut Orthoss® de 76%. Taux comparable aux chiffres de la littérature. Une série récente de 27 patients opérés de PLIF dans un contexte traumatique avec substitut Orthoss® retrouve un taux de consolidation de 85% avec un pourcentage de reprise chirurgicale de 5%, comparable au nôtre. La consolidation était évaluée par radiographie, ce qui peut expliquer le taux de consolidation supérieur au nôtre[128].

En effet les critères radiographiques de non consolidation des arthrodèses lombaires sont souvent la rupture du matériel postérieur ou la subsidence de la cage antérieure[129], ce qui correspond au grade 4 de la classification de Lenke. Seulement 2 patients avaient atteint le grade 4 dans notre étude. Des études ont montré que la précision d'évaluation de la consolidation des arthrodèses lombaires par radiographies comparée à l'exploration chirurgicale ne dépasse pas les 70%[130], alors que celle du scanner est meilleure[131] et atteint même les 90% selon certaines

[128] Weber et al., « Bio-Derived Apatite As a Bone Graft for Vertebral Trauma ».

[129] Niemeyer et al., « Post-discectomy syndrome treated with lumbar interbody fusion ».

[130] Blumenthal et Gill, « Can Lumbar Spine Radiographs Accurately Determine Fusion in Postoperative Patients? »; Kant et al., « Evaluation of Lumbar Spine Fusion. Plain Radiographs versus Direct Surgical Exploration and Observation ».

[131] Brodsky, Kovalsky, et Khalil, « Correlation of Radiologic Assessment of Lumbar Spine Fusions with Surgical Exploration ».

études[132]. Bien que l'exploration chirurgicale soit toujours considérée comme le gold standard en matière d'évaluation de la consolidation des arthrodèses lombaires, le scanner est actuellement recommandé pour son exploration (grade B), les radiographies seules ne le sont plus (grade A)[133].

De plus, une étude a montré une concordance intra et inter observateur faible pour la radiographie et modérée pour le scanner, avec un taux de concordance radiographie/scanner de 50% environ[134]. Les mêmes auteurs ont démontré que l'absence de consolidation d'une des deux colonnes postérieures était un mauvais prédicteur de non consolidation, la consolidation était vérifié par reprise chirurgicale[135]. De ce fait, nous avons pris la décision de considérer les niveaux présentant des discordances de consolidation antérieure et postérieure comme consolidés dans notre étude. Ceci concerne 7 niveaux dans notre étude, dont 2 ont présenté des stade 1 (1antérieur et 1 postérieur), aucun ne présentait de stade 4. Ce type de discordance avait déjà été décrite par Bridwell et Lenke en 1995[136].

	consolidés (n=18) **Moyenne :**	**non consolidés (n=6)** **Moyenne :**	**total (n=24)**	***p* value**
Oswestry	20,33	20,33	20,33	0,504
EVA dos	4,78	4,17	4,6	0,686
EVA jambes	4,22	4	4,2	0,919

Tableau 4 - Résultats fonctionnels. L'ensemble des moyennes a été calculé par patient, sur tous les sujets ayant répondu au questionnaire à 1 an (n=24). Les analyses statistiques ont été réalisées par test de Wilcoxon.

[132] Carreon et al., « Diagnostic Accuracy and Reliability of Fine-Cut CT Scans with Reconstructions to Determine the Status of an Instrumented Posterolateral Fusion with Surgical Exploration as Reference Standard ».

[133] Choudhri et al., « Guideline Update for the Performance of Fusion Procedures for Degenerative Disease of the Lumbar Spine. Part 4 ».

[134] Carreon, Glassman, et Djurasovic, « Reliability and Agreement between Fine-Cut CT Scans and Plain Radiography in the Evaluation of Posterolateral Fusions ».

[135] Carreon et al., « Diagnostic Accuracy and Reliability of Fine-Cut CT Scans with Reconstructions to Determine the Status of an Instrumented Posterolateral Fusion with Surgical Exploration as Reference Standard ».

[136] Bridwell et al., « Anterior Fresh Frozen Structural Allografts in the Thoracic and Lumbar Spine. Do They Work If Combined with Posterior Fusion and Instrumentation in Adult Patients with Kyphosis or Anterior Column Defects? »

2. COMPARAISON AVEC LES AUTRES TECHNIQUES DE GREFFE ET DE SUBSTITUTION OSSEUSE :

En comparaison avec le gold standard, plusieurs méta-analyses retrouvent un taux de consolidation dans les arthrodèses lombaires entre 77% et 85%[137]. Une étude dans les PLIF retrouve des résultats concordants avec taux de fusion de 73% pour la greffe iliaque[138]. Les analyses de la consolidation étaient principalement radiographiques.

Concernant les Rh-BMP, les méta-analyses citées précédemment retrouvaient des taux de consolidation plus élevés allant de 85 % à 91%[139]. Des études prospectives ont trouvé des taux de fusion radiographique de 88% dans les PLIF[140]. Une étude prospective sur les TLIF de 2004 avec analyse scanographique sur 39 niveaux retrouve un taux de consolidation de 97,4% après utilisation de rhBMP-2[141]. Cependant les résultats de cette étude peuvent être remis en cause du fait de l'absence de critère scanographique pour juger de la consolidation et de la présence d'un patient ayant présenté une rupture du matériel mais tout de même considéré comme consolidé. Il est important de noter que, comme l'avait soulevé Vaz en 2010, la plupart des études réalisées concernant les rh-BMP ont été financées par les laboratoires les distribuant[142].

Concernant l'utilisation des matrices osseuses déminéralisées, son utilisation seule n'a pas fait ses preuves dans les arthrodèses rachidiennes[143], avec un taux de consolidation de 60% dans les arthrodèses postérieures[144], et 63% avec adjonction d'aspirât de moelle osseuse. Ce taux augmente à 70% en cas de combinaison à une greffe iliaque autologue[145].

---

[137] Papakostidis et al., « Efficacy of Autologous Iliac Crest Bone Graft and Bone Morphogenetic Proteins for Posterolateral Fusion of Lumbar Spine »; Chen et al., « Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2 versus Autogenous Iliac Crest Bone Graft for Lumbar Fusion »; Liu et al., « Comparative Clinical Effectiveness and Safety of Bone Morphogenetic Protein Versus Autologous Iliac Crest Bone Graft in Lumbar Fusion ».

[138] Dimar et al., « Clinical Outcomes and Fusion Success at 2 Years of Single-Level Instrumented Posterolateral Fusions with Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2/Compression Resistant Matrix versus Iliac Crest Bone Graft ».

[139] Papakostidis et al., « Efficacy of Autologous Iliac Crest Bone Graft and Bone Morphogenetic Proteins for Posterolateral Fusion of Lumbar Spine »; Chen et al., « Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2 versus Autogenous Iliac Crest Bone Graft for Lumbar Fusion »; Liu et al., « Comparative Clinical Effectiveness and Safety of Bone Morphogenetic Protein Versus Autologous Iliac Crest Bone Graft in Lumbar Fusion ».

[140] Dimar et al., « Clinical Outcomes and Fusion Success at 2 Years of Single-Level Instrumented Posterolateral Fusions with Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2/Compression Resistant Matrix versus Iliac Crest Bone Graft ».

[141] Kuklo, Rosner, et Polly, « Computerized Tomography Evaluation of a Resorbable Implant after Transforaminal Lumbar Interbody Fusion ».

[142] Vaz et al., « Bone grafting options for lumbar spine surgery ».

[143] Fernandez de Grado et al., « Bone substitutes ».

[144] Jorgenson et al., « A Prospective Analysis of Autograft versus Allograft in Posterolateral Lumbar Fusion in the Same Patient. A Minimum of 1-Year Follow-up in 144 Patients ».

[145] Vaccaro, Stubbs, et Block, « Demineralized Bone Matrix Composite Grafting for Posterolateral Spinal Fusion ».

Concernant l'allogreffe, l'allogreffe congelée rapporte un taux de consolidation de 76% dans une étude prospective[146]. Une méta-analyse de 716 patients retrouve un taux de fusion avec os de décortication de 90,9%, mais il était associé à des rh-BMP dans près de la moitié des études. Une étude rétrospective retrouve un taux de fusion à 2 ans après utilisation d'os de décortication seul de 63% sur 27 patients[147].

Concernant les céramiques de bêtaTCP, il est retrouvé des taux de consolidation allant de 85% à 93,7%, quand associée à de l'os de décortication[148], mais ce taux chute à 66,7% lors des arthrodèses double niveaux[149]. L'hydroxyapatite d'origine coralline présente elle un taux de consolidation de 53% dans les PLIF[150].

	consolidés (n=31)		**non consolidés (n=10)**		***p* value**
Valeurs quantitatives	**Moyenne :**		**Moyenne :**		
Age	61,3		65,7		0,37
IMC	28,5		24,4		**0,012**
Nbr de niveau	1,2		2,5		0,053
Valeurs qualitatives	**Nombres :**	**Pourcentage :**	**Nombres :**	**Pourcentage :**	***p value***
Sexe (F)	18	58%	3	30%	0,159
Tabac	11	35%	2	20%	0,458
AINS	6	19%	3	30%	0,662
Corticoïdes	2	6%	1	10%	1
Diabète	0	0%	3	30%	**0,011**
Niveaux :					
L2/L3	1	3%	0	0%	0,464+
L3/L4	4	13%	1	10%	
L4/L5	19	61%	4	40%	
L5/S1	7	23%	5	50%	

Tableau 5 - Etude des facteurs de risques. Toutes les analyses ont été réalisées par niveaux. Les valeurs quantitatives ont été analysées par test de Wilcoxon ; les valeurs qualitatives par test de Fischer.

[146] Thalgott et al., « A Prospective, Randomized, Blinded, Single-Site Study to Evaluate the Clinical and Radiographic Differences between Frozen and Freeze-Dried Allograft When Used as Part of a Circumferential Anterior Lumbar Interbody Fusion Procedure ».

[147] Kunakornsawat et al., « A Comparative Study of Radiographic Results Using HEALOS Collagen-Hydroxyapatite Sponge with Bone Marrow Aspiration versus Local Bone Graft in the Same Patients Undergoing Posterolateral Lumbar Fusion ».

[148] Epstein, « A Preliminary Study of the Efficacy of Beta Tricalcium Phosphate as a Bone Expander for Instrumented Posterolateral Lumbar Fusions »; Epstein, « An Analysis of Noninstrumented Posterolateral Lumbar Fusions Performed in Predominantly Geriatric Patients Using Lamina Autograft and Beta Tricalcium Phosphate ».

[149] Epstein, « Beta Tricalcium Phosphate ».

[150] Hsu et al., « Coralline Hydroxyapatite and Laminectomy-Derived Bone as Adjuvant Graft Material for Lumbar Posterolateral Fusion ».

3. COMPLICATIONS :

Le taux de complications dans notre étude était de 18% au total. Des méta-analyses sur les TLIF retrouvent des taux de complications allant de 8,7% à 12,7%, mais les syndromes adjacents ne sont souvent pas pris en compte[151]. Toutes les complications de notre étude sont survenues au sein des patients consolidés. Cela s'explique par la faible puissance de notre étude et par la prise en compte des syndromes adjacents, plus fréquents après consolidation. Les données de la littérature retrouvent un taux de syndrome adjacent de 10 à 30 % parmi les patients consolidés, dont 3% de reprise chirurgicale[152]. Dans notre étude, parmi les 26 patients consolidés, nous avons retrouvé 3 syndromes adjacents (12%), dont 1 ayant nécessité une chirurgie complémentaire par ALIF (4%).
Un autre patient (3%) a nécessité une reprise chirurgicale pour infection précoce. Le patient a consolidé son arthrodèse à 1 an. Le taux de reprise chirurgicale dans notre étude était de 6%, ce qui est totalement superposable aux données de la littérature, une étude prospective de 50 TLIF ayant retrouvé un taux de reprise chirurgicale 6%[153].

4. RESULTATS FONCTIONNELS :

Nous avons trouvé un score d'Oswestry moyen de 20,33 pour les deux groupes, cette valeur est en accord avec les chiffres de la littérature, plusieurs études prospectives et des méta-analyses retrouvant des ODI postopératoire 14,2 et 27[154]. L'EVA moyen était de 4,6 au niveau du dos et de 4,2 au niveau des jambes, la littérature retrouve des chiffres moyens allant de 1,33 à 4,2[155] , souvent plus important au niveau du dos comme dans notre étude[156]. Il est important de noter que nous n'avons pas trouvé de différence significative sur ces 3 critères entre les groupes consolidés et non consolidés, avec même une moyenne d'EVA légèrement supérieure dans le groupe consolidé (4.78 vs 4.17 pour le dos et 4.22 vs 4.0 pour les jambes), ce n'est pas la première fois que des résultats similaires sont retrouvé dans la littérature : 2 études prospectives de 40 et 38 patients ne retrouvaient pas de différence significative en termes d'ODI ni d'EVA entre les patients consolidés et ceux en pseudarthrose à 12 et 24 mois[157]. Une étude rétrospective de 42 patients ne retrouvait pas de différence clinique entre les patients consolidés et non consolidés avant 5 ans de suivi[158].

---

[151] Tsutsumimoto et al., « Union versus nonunion after posterolateral lumbar fusion »; Kim et al., « Comparison of Minimally Invasive Versus Open Transforaminal Interbody Lumbar Fusion »; de Kunder et al., « Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF) versus Posterior Lumbar Interbody Fusion (PLIF) in Lumbar Spondylolisthesis ».

[152] Kim et al., « Comparison of Minimally Invasive Versus Open Transforaminal Interbody Lumbar Fusion »; Cheh et al., « Adjacent Segment Disease FollowingLumbar/Thoracolumbar Fusion With Pedicle Screw Instrumentation »; Kobayashi et al., « Reoperation within 2 Years after Lumbar Interbody Fusion ».

[153] Parker et al., « Minimally Invasive versus Open Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Degenerative Spondylolisthesis ».

[154] Price et al., « Clinical and Radiologic Comparison of Minimally Invasive Surgery With Traditional Open Transforaminal Lumbar Interbody Fusion »; Mummaneni et al., « Minimally invasive versus open fusion for Grade I degenerative lumbar spondylolisthesis »; Kim et al., « Comparison of Minimally Invasive Versus Open Transforaminal Interbody Lumbar Fusion »; de Kunder et al., « Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF) versus Posterior Lumbar Interbody Fusion (PLIF) in Lumbar Spondylolisthesis ».

[155] de Kunder et al., « Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF) versus Posterior Lumbar Interbody Fusion (PLIF) in Lumbar Spondylolisthesis »; Lowe et Tahernia, « Unilateral Transforaminal Posterior Lumbar Interbody Fusion ».

[156] Price et al., « Clinical and Radiologic Comparison of Minimally Invasive Surgery With Traditional Open Transforaminal Lumbar Interbody Fusion »; Kim et al., « Comparison of Minimally Invasive Versus Open Transforaminal Interbody Lumbar Fusion ».

[157] Thalgott et al., « A Prospective, Randomized, Blinded, Single-Site Study to Evaluate the Clinical and Radiographic Differences between Frozen and Freeze-Dried Allograft When Used as Part of a Circumferential Anterior Lumbar Interbody Fusion Procedure »; Rodrigues et al., « Estudo prospectivo comparativo entre pseudoartrose e fusão óssea na estenose de canal lombar ».

[158] Tsutsumimoto et al., « Union versus nonunion after posterolateral lumbar fusion ».

5. ETUDES DES FACTEURS DE RISQUES DE NON CONSOLIDATION :

Nous avons trouvé une association significative entre le diabète et le risque de non consolidation, cependant ce résultat doit être interprété avec prudence car nous n'avions qu'un seul patient diabétique dans l'étude, mais opéré de 3 niveaux et avec aucune consolidation. Nous avons aussi trouvé que les patients non consolidés avaient, dans notre étude, un IMC statistiquement plus bas que les patients ayant consolidé. Ce résultat est critiquable du fait de la faible puissance de l'étude, de l'inflation du risque alpha sur cette analyse des facteurs de risques et par le fait qu'elle va à l'encontre des données de la littérature, l'obésité étant considérée comme un facteur de risque de non consolidation pour les arthrodèses vertébrales[159]. Nous n'avons pas mis en évidence de différence significative pour les autres facteurs étudiés, l'âge étant pourtant un facteur de risque reconnu de pseudarthrose[160], ainsi que le nombre de niveaux opérés[161]. Cela est probablement aussi dû à la faible puissance de notre étude.

[159] HOLLERN et al., « Risk Factors for Pseudarthrosis After Surgical Site Infection of the Spine ».

[160] Konomi et al., « Incidences and Risk Factors for Postoperative Non-Union after Posterior Lumbar Interbody Fusion with Closed-Box Titanium Spacers »; Ekegren et al., « Incidence, Costs and Predictors of Non-Union, Delayed Union and Mal-Union Following Long Bone Fracture ».

[161] Marques et al., « Pseudarthrosis in Adult Spine Deformity Surgery ».

Conclusion :

Pour conclure, le substitut osseux Orthoss® semble présenter des taux de consolidation et de complication similaires aux autres substituts osseux et paraît être une alternative valable à la greffe iliaque autologue, avec des résultats fonctionnels satisfaisants. Bien sûr des études complémentaires sont nécessaires, plus puissantes et comparatives pour affirmer son efficacité.

Le principal facteur limitant de notre étude est sa faible puissance étant rétrospective et sur un petit effectif (34 patients). En effet la pandémie de coronavirus à drastiquement diminué le nombre de patients opérés de TLIF durant les années 2020 et 2021 dans nos centres. En outre, la part croissante d'indication d'arthrodèse lombaire par ALIF au dépend des TLIF a aussi contribué à cette faible inclusion.

Cependant, l'ensemble de ce travail nous fait réfléchir aux objectifs de l'arthrodèse lombaire. Le but de cette intervention n'étant-il pas plus l'amélioration fonctionnelle et la diminution des douleurs plutôt que la fusion ? Comme nous l'avons vu, certaines études ont mis en évidence une absence de corrélation entre fusion et résultats fonctionnels après arthrodèse lombaire. En tout état de cause, nous pouvons affirmer que la consolidation n'est pas le seul déterminant.

Dans ce cas, il y a-t-il un véritable intérêt, en pratique courante, à réaliser des scanners systématiques lors du suivi du patient ? Un suivi radiographique simple ne serait-il pas suffisant et moins coûteux en cas de résultats cliniques satisfaisants, le scanner étant alors réservé à la recherche de complications en cas de mauvais résultats (pseudarthrodèse symptomatique, syndrome adjacent etc.)

Enfin, quels sont, en dehors de la qualité de la fusion osseuse, les autres facteurs de risques de mauvais résultat clinique ? Il y a encore beaucoup de pistes à explorer à ce sujet, notamment l'analyse radiographique des paramètres lombo pelviens et l'évaluation clinique des comorbidités des patients.

UNIVERSITE DE POITIERS

Faculté de Médecine et de Pharmacie

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime. Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ! Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque !

Résumé :

Introduction :
L'arthrodèse lombaire transforaminale consiste à faire fusionner un niveau vertébral pathologique à l'aide d'une greffe osseuse intercorporéale et facettaire postérieure instrumentée par une cage d'arthrodèse antérieure et un vissage pédiculaire postérieur. Cette greffe osseuse peut être autologue, allogénique ou bien composée de substitut osseux, pour éviter les comorbidités de l'autogreffe, en espérant atteindre son efficacité. Ces substituts sont multiples et leur taux de consolidation dans la littérature montre des résultats discordants.
Dans cette étude, nous allons étudier le taux de consolidation osseuse à 1 an d'un substitut osseux xénogénique dérivé de l'os bovin, le substitut Orthoss®.

Méthode :
Nous avons effectué une étude rétrospective sur 34 patients, pour 41 niveaux lombaires opérés. Le taux de consolidation a été évalué par scanner à 1 an de la chirurgie en utilisant la classification de Lenke. Les scores d'EVA et d'Oswestry à 1 an ont été collectés ainsi que les antécédents médicaux pour l'analyse des facteurs de risque de non-consolidation.

Résultats :
Nous avons trouvé un taux de consolidation total de 76%, pour un taux de complication de 18%, dont 9% de syndromes adjacents, exclusivement chez les patients consolidés. Il y a eu 2 reprises chirurgicales, une pour infection, une pour extension de montage sur syndrome adjacent. L'Oswestry moyen était de 20,33, l'EVA de 4,6 au niveau lombaire et 4,2 au niveau des membres inférieurs. Il n'y avait pas de différence significative en terme de complication, d'EVA ou d'Oswestry entre les patients consolidés et non consolidés. L'étude des facteurs de risque n'a pas retrouvé de résultat significativement ou cliniquement pertinent.

Conclusion :
Cette étude montre que le substitut osseux Orthoss® présente un taux de consolidation comparable aux taux de consolidations scanographiques retrouvés dans la littérature concernant l'autogreffe (73 à 85%), pour des taux de complications et des résultats fonctionnels similaires.
De plus cette étude montre l'absence de corrélation entre la consolidation et les résultats fonctionnels. Bien que notre étude manque de puissance, nous pouvons affirmer que la consolidation n'est pas le seul facteur pronostic de l'arthrodèse lombaire. Il convient alors de s'interroger sur les autres facteurs en jeu dans le résultat fonctionnel de cette chirurgie, mais aussi de la difficulté de l'évaluation, scanographique ou radiographique, de la consolidation osseuse d'une arthrodèse lombaire.

Mots clés :

Chirurgie du rachis ; Etude rétrospective ; Arthrodèse lombaire ; Consolidation ; TLIF ; Substituts osseux ; Xénogénique.